GIULIO MAIRA

# IL CERVELLO È PIÙ GRANDE DEL CIELO

I segreti della mente spiegati da un grande neurochirurgo

SOLFERINO

Come funziona la nostra memoria? Come nascono i sogni? Cosa sono i neuroni specchio? In cosa differiscono i cervelli di uomini e donne? A che punto è l'intelligenza artificiale? Le neuroscienze hanno fatto in questi anni progressi straordinari e per comprenderli occorre una guida speciale, un grande neurochirurgo che ci accompagni in un viaggio attraverso i misteri della mente. In queste pagine Giulio Maira spiega in modo appassionante quanto sia complesso e prezioso il funzionamento del cervello e perché tutto ciò con cui entriamo in contatto ogni giorno – dal cellulare al computer, dai ricordi alle emozioni, dalla tv al senso del bello – non potrebbe esistere senza quella macchina perfetta che abbiamo in testa: una massa di atomi forgiati miliardi di anni fa nel cuore di stelle lontane che ci fa affermare che siamo tutti letteralmente «figli delle stelle».
Attraverso metafore lampanti, citazioni e storie vere scopriamo la struttura e le funzioni dell'organo più articolato e importante dell'universo imparando come curarlo e mantenerlo «allenato» nel corso del tempo e mettendoci di fatto di fronte allo specchio della nostra anima. Perché è dai suoi meandri che scaturiscono la dolcezza della vita e la complessità del nostro destino.

**GIULIO MAIRA** è uno dei massimi chirurghi italiani del cervello a livello internazionale. Ha insegnato tra l'altro all'Università Cattolica del Sacro Cuore di Roma, Policlinico Agostino Gemelli e opera adesso all'Istituto Clinico Humanitas di Milano. Ha pubblicato numerosi articoli scientifici su riviste e libri internazionali, è membro della New York Academy of Sciences, è presidente della Fondazione ATENA Onlus da lui creata per favorire la ricerca e la divulgazione delle neuroscienze, è stato a lungo membro del Consiglio Superiore di Sanità ed è Cavaliere di Gran Croce al merito della Repubblica Italiana.

In copertina:
illustrazione di Beppe Giacobbe
Progetto grafico:
Alice Iuri / *the*World*of*DOT

www.solferinolibri.it

GIULIO MAIRA

# Il cervello è più grande del cielo

# Il cervello è più grande del cielo

*A Carla, per sempre*

# 1
# Cogito ergo sum

*Io sono un cervello, Watson,*<br>
*Il resto di me è una pura appendice.*<br>
Arthur Conan Doyle, *L'avventura della pietra di Mazarino*

A prima vista può sembrare che ci sia poco da dire sul cervello. Ci sembra naturale che nel mondo esistano i colori e i suoni; ci sembra naturale ritornare con la memoria alla nostra infanzia o vivere le fantasie dei nostri sogni. In realtà, tutto quello che facciamo, per quanto semplice ci sembri, è il risultato dello straordinario assemblaggio di miliardi di cellule cerebrali.

Ma tutto questo non l'ho scoperto subito. Inizialmente il mio unico obiettivo era di riuscire a fare il chirurgo. Da studente, al ginnasio, seguivo mio padre in sala operatoria e lo guardavo affascinato dal suo lavoro. Lo accompagnavo nelle visite da medico condotto, nelle case della povera gente del paese in cui abitavamo.

Mi dicevo che anch'io volevo fare quel lavoro, diventare chirurgo, aiutare la gente che soffre e fare di tutto per dare ai miei pazienti una speranza.

Cominciata l'università, ascoltando le lezioni dei professori e preparando gli esami, capii che nessun altro organo del nostro corpo era affascinante quanto il cervello. E decisi che avrei fatto il neurochirurgo in modo da unire la passione per la chirurgia al desiderio di studiare la cosa più straordinaria che abbiamo, il nostro cervello.

Quando, da specializzando, cominciai ad assistere ai primi interventi, rimanevo sbalordito davanti a quell'organo pulsante fatto da milioni di cellule in grado di produrre i pensieri e le emozioni di una persona. E pensavo che nulla era più affascinante e più misterioso di un lavoro che all'estrema delicatezza e precisione della tecnica univa la grande possibilità di capire cose fino ad allora ignote, il funzionamento del cervello, le conseguenze di un danno cerebrale.

La neurochirurgia è stata la passione che mi ha accompagnato per tutta la vita. Penso sia tra i lavori più affascinanti che si possano immaginare, ma allo stesso tempo è un lavoro impegnativo per l'enorme responsabilità che ogni operazione comporta; da come si muoveranno le mani del chirurgo dipenderà se la psiche o l'integrità fisica di quella persona, in pratica ciò che la caratterizza come essere umano, verranno preservate, se sarà come prima o no.

Ho studiato pazienti con malattie cerebrali complesse, ho operato tanti malati ai quali un tumore, o un'emorragia, o un trauma avevano danneggiato aree cerebrali, e ho potuto vedere quanto il corretto funzionamento del cervello sia importante per la vita di tutti i giorni. Tutto questo ha fatto crescere in me una forte curiosità di apprendere in che modo quella macchina straordinaria sia riuscito a sviluppare una simile serie di facoltà intellettive.

Nel corso della mia vita ho avuto la fortuna di vivere un periodo di progresso scientifico e tecnologico quale mai si era visto prima, con lo sviluppo di strumenti capaci di indagare, come mai finora, dentro la nostra testa, mostrandoci le aree di eccitazione neuronale e la straordinaria rete di connessioni che contribuiscono allo sviluppo del pensiero. Una delle più grandi avventure della scienza è scoprire il funzionamento del cervello e cercare di dare risposte ai profondi quesiti scientifici e filosofici a esso connessi. Per quanto la strada possa essere lunga e faticosa, quanto si scoprirà sarà ricco di sorprese entusiasmanti e di stupore per la meraviglia delle cose che si potranno apprendere.

Anche per quest'organo affascinante, come per tutte le cose, conoscere i meccanismi d'azione potrà significare anche imparare a usarlo meglio, a sviluppare maggiormente le sue risorse, a proteggerlo e non farlo deteriorare più di quanto il tempo e le malattie non possano fare. Una volta capito meglio il suo modo di lavorare, anche una serie di malattie come l'Alzheimer, il Parkinson, la schizofrenia, l'autismo, la demenza eccetera, potranno essere comprese e, forse, curate.

Benché siamo lontani dal capire l'origine del pensiero o la sede della coscienza, questi ultimi anni sono stati straordinari per il progresso delle conoscenze sulle funzioni cerebrali. Abbiamo cominciato a capire i meccanismi della nostra memoria e da dove vengono i sogni. Conosciamo le basi del funzionamento delle reti neurali. Abbiamo imparato che il cervello fino all'ultimo momento può cambiare e arricchirsi.

Ho pensato di scrivere questo libro per condurre il lettore nella straordinaria avventura delle neuroscienze, in un viaggio che lo inizi ai misteri del funzionamento del cervello e della mente. E voglio dedicarlo alle tante persone accomunate dalla curiosità e dall'interesse verso la scienza.

Queste pagine vogliono spiegare con parole comprensibili e semplici, evitando, se possibile, l'oscuro linguaggio scientifico, quanto sia complesso e prezioso il funzionamento del cervello e come tutto ciò che caratterizza la nostra vita e il progresso che la accompagna sia possibile proprio grazie a lui. Tutto quello con cui entriamo in contatto ogni giorno, la nostra macchina, il cellulare, la radio che accendiamo andando al lavoro, il computer in cui custodiamo tanta parte della nostra vita, i sogni che ci trasportano in un mondo fantastico, il ricordo delle persone care, l'amore, il senso del bello, i pensieri, senza il cervello non potrebbero esistere.

Suscita stupore e sconcerto che il nostro cervello sia composto di atomi forgiati miliardi di anni fa nel cuore di stelle lontane. Per i fisici noi siamo letteralmente «figli delle stelle». La cosa incredibile sta nel fatto che questi atomi si siano assemblati in modo da costituire l'organo più importante dell'universo, e che adesso questi stessi atomi formino una massa in grado di riflettere non solo sulle stesse stelle ma anche sulla propria capacità di pensare. Come scrive Ramachandran,

qualunque scimmia può tendere la mano verso una banana, ma solo l'uomo può tenderla verso le stelle. E con la curiosità che solo noi abbiamo, noi uomini guardiamo dentro noi stessi, cercando di risolvere il rompicapo del nostro singolare, meraviglioso cervello.

Il mio scopo è far capire al lettore comune gli aspetti più intriganti e appassionanti dei meccanismi della sua mente, quelli che più possono interessare una persona curiosa, non un neuroscienziato.

Ma soprattutto l'ho scritto spiegando le cose come le ho capite io, in modo semplice, non necessariamente perfetto ma chiaro. Come se raccontassi una favola, come se fosse un racconto, il racconto della nostra mente.

È un fiume di parole, talvolta astruse, ma che scorre sempre; se lo segui ti porterà in un posto strano e meraviglioso. Ti condurrà nel nostro cervello.

Nello scrivere questo libro mi sono immerso nell'immensità dei fenomeni della mente, come nelle acque azzurre di un mare profondo. Ho respirato per mesi al ritmo dei neuroni e ho scoperto in essi il miracolo della vita, che si ripete, con pochi cambiamenti, dall'origine dell'uomo: la storia della nostra mente è la storia dell'uomo nel mutare dei secoli, grandiosa o miserabile, illuminata o mediocre che sia.

I protagonisti di questa storia siamo tutti noi. Studiando la mente ci troviamo come davanti allo specchio della nostra anima. Dai suoi meandri scaturisce la dolcezza della nostra vita e la complessità del nostro destino.

# 2
# C’era una volta

*Il piacere supremo a cui dovremo consacrare tutti noi stessi, è quello di raccontare quanto abbiamo capito, vissuto, immaginato o sognato (i Lestrigoni, i Ciclopi, le Circi, Scilla e Cariddi, le Itache che stanno dietro ognuno di noi) mentre gli altri pendono, insonni nella lunga notte, dalle nostre labbra.*

Pietro Citati, *La mente colorata*

C’era una volta una principessa che si chiamava…

Così nascono tutti i racconti, e con il racconto, una delle caratteristiche più peculiari dell’essere umano, si è evoluta la nostra civiltà. Raccontiamo, inventiamo, facciamo rivivere esperienze vere o fantastiche, non arrestiamo mai la nostra fantasia e le nostre cellule cerebrali. Un tempo, prima della scrittura, il racconto serviva a tramandare le storie, a evitare che si perdessero. Raccontare è un elemento fondamentale della conoscenza: solo quello che si è capito può essere raccontato. Se vi è qualcosa di speciale nella mente umana, è la capacità di costruire racconti e di condividerli con gli altri. Così hanno

avuto origine le storie che hanno plasmato la nostra cultura, i poemi di Omero che ancora ci incantano, i racconti biblici.

Ciascuno di noi ha una propria storia, un racconto interiore che continuamente costruisce e vive, la cui continuità, il cui senso, è la vita di ognuno: siamo noi stessi, il nostro racconto più bello. L'uomo ha bisogno di raccontarsi questa storia continua per costruire e conservare la propria identità, per capire da dove viene e cercare di prevedere come sarà il suo futuro. E raccontare, parlare agli altri, fa sentire a chi ascolta lo scorrere dei nostri pensieri che si trasformano in suoni.

«Nonno, mi racconti una storia?»: quante volte lo abbiamo sentito o lo abbiamo detto. Da bambini non ci addormentiamo senza una storia, come per avere la certezza che la notte passerà, che arriverà un nuovo giorno e il racconto continuerà.

In questa storia, protagonista del nostro racconto non è una principessa, né un principe, ma un re, il nostro cervello, l'organo più complesso e misterioso dell'universo conosciuto.

All'interno della nostra testa, dove la gente ritiene che abiti la mente, ha sede un sistema fantastico di cellule e fibre, con milioni di messaggeri che corrono avanti e indietro per tutto il reame, senza mai fermarsi, e fanno sì che tutto funzioni in modo perfetto. Purtroppo, molti nemici cercano di apportare danni: i traumi, le malattie, le droghe, il passare del tempo.

Per fortuna il reame gode di forti alleanze, persone che lottano tutti i giorni per riparare i danni che i tanti nemici arrecano.

Ma qualche volta, per eliminare una pericolosa lesione, il cervello viene ferito.

Da tanti anni ho il meraviglioso privilegio di fare il neurochirurgo, e ogni volta che sfioro un'area cerebrale o debbo rimuovere una porzione di tessuto per asportare una malattia, non posso non chiedermi quale funzione abbia quell'insieme di decine di migliaia o di milioni di cellule che sarò costretto a sacrificare; quali ricordi o quali collegamenti, da cui può scaturire un'emozione o un ricordo, verranno eliminati rimuovendo un semplice grumo di cellule; cosa, di quella persona, sarà estirpato per sempre.

Ogni volta che tocco il tessuto cerebrale non posso fare a meno di immaginare che sto sfiorando i pensieri di un uomo, e mi chiedo: quali saranno? E rimango stupito nel considerare che, utilizzando cellule come

quelle, qualcuno abbia potuto scrivere *Re Lear* o il *Don Giovanni*, o abbia potuto dipingere i quadri che ci hanno lasciati tante volte senza parole, coinvolgendo il nostro cuore e la nostra mente. Quante volte mi sono chiesto come tutto ciò sia possibile!

In questo momento, proprio come in ogni altro istante della nostra vita, nella rete dentro la nostra testa l'attività ferve. Miliardi di segnali elettrici corrono tra una cellula e l'altra, facendo scattare impulsi chimici nei miliardi di milioni di connessioni che permettono alle cellule di funzionare. La più semplice delle azioni o l'idea più geniale generata dalla nostra mente sono il risultato finale di questo lavorio nascosto.

Una delle caratteristiche del nostro cervello è che non si ferma mai e che, qualunque cosa noi facciamo, nel compiere le imprese più straordinarie o nel volgere di una normale giornata, in qualunque momento del giorno o della notte, è solo lui alla base di ogni azione e di ogni pensiero.

Qualche esempio concreto ci farà capire meglio.

*Stadio Olimpico, Mosca, 28 luglio 1980, appena dopo le 20*

Uno stadio olimpico, una pista di atletica in terra rossa, decine di migliaia di persone che urlano eccitate per uno spettacolo che si annuncia entusiasmante. Da casa propria, in tutto il mondo, milioni di persone sono in ansiosa attesa davanti agli schermi tv.

In pista otto uomini, piegati sui blocchi, aspettano che la gara abbia inizio; correranno la finale dei 200 metri piani.

Nell'ultima corsia di destra, l'ottava, un atleta con una maglia azzurra, teso, si guarda intorno per osservare i suoi avversari e, senza che lo voglia, si vede passare nella mente tutte le gare già fatte, tutti i mesi di addestramento, tutte le fatiche che lo hanno portato lì. Il suo ippocampo, il centro della memoria, è in pieno lavorio e dialoga continuamente con il talamo e con le aree corticali per far rivivere i ricordi di tanti anni.

Il ginocchio destro e le mani sono a terra, lo sguardo avanti. Nel suo cervello milioni di cellule sono attive: le aree dell'emotività stimolano una produzione di adrenalina, la corteccia prefrontale, sede delle decisioni, è in allerta per dare alle cellule della corteccia motoria, quando

sarà il momento, l'ordine di scattare; scariche elettriche partono continuamente dagli occhi per inviare informazioni alla corteccia visiva, mentre il suo sguardo continua a girare dagli atleti accanto a lui alla pista che dovrà percorrere correndo più veloce che può.

Dal fondo della retina partono un'infinità di segnali nervosi che percorrono i nervi ottici e raggiungono il talamo e la corteccia visiva, e da qui si recano alla corteccia temporale e parietale in modo che tutto ciò che succede in pista sia costantemente e rapidamente analizzato e l'atleta possa attivare, appena necessario, i suoi muscoli.

Il cervelletto è pronto a ripetere gesti oramai automatici, fissati nella memoria procedurale.

L'amigdala è in frenetica attività; paura, gioia, ansia, scariche continue al surrene. L'area della corteccia prefrontale, il direttore d'orchestra del nostro cervello, vorrebbe già attivare i muscoli, ma sa che saranno la corteccia visiva e quella uditiva a cogliere il segnale di partenza e a dare l'allarme, e sa che solo allora potrà attivare la corteccia motoria, il prima possibile, prima di quanto non faranno gli altri. Il cervello è in attesa, pronto.

A un segno l'atleta si tira su, il capo ancora in basso. Finalmente arriva il segnale di partenza. Tutto nel cervello si attiva: come in un immenso flipper milioni di contatti si accendono all'improvviso, tutti i centri nervosi che bisogna far funzionare perché si possa esprimere al massimo la capacità di correre. La corteccia frontale riceve lo stimolo uditivo e pianifica l'azione di partenza lasciando libera la corteccia motoria e, finalmente, segnali elettrici discendono lungo il midollo spinale per attivare i muscoli. Il cervelletto si accende perché la coordinazione del corpo funzioni perfettamente.

Appena sente il via, l'atleta scatta in piedi, si distende e comincia la sua corsa, come sempre con qualche centesimo di secondo di ritardo sugli altri. In partenza è in ottava corsia, nella postazione più avanzata, apparentemente avanti a tutti. Lo scozzese che corre in settima scatta prima e rapidamente lo supera. La retina, con le sue cellule che scrutano il campo visivo di sinistra, coglie la posizione dei concorrenti e manda l'informazione alla corteccia visiva occipitale, che elabora le immagini retiniche e invia continui messaggi all'amigdala perché dia un segnale di allarme e faccia produrre più adrenalina, come se fosse benzina per il motore. Altrimenti la corsa è persa.

Ci si avvicina alla curva. Le aree visive, i labirinti e i sistemi propriocettivi incaricati di registrare posizione, movimento e postura del corpo, segnalano la necessità di cambiare assetto. Le aree della coordinazione, nel cervelletto, inviano segnali adeguati perché i muscoli si preparino di conseguenza; migliaia di microcorrezioni vengono effettuate per mantenere l'equilibrio del corpo. All'uscita dalla curva il cervello segnala che gli altri atleti sono avanti; quando si imbocca il rettilineo, l'atleta è praticamente penultimo, con due, tre metri di svantaggio sullo scozzese che nella corsia vicina guida la corsa.

L'amigdala richiede ancora maggiore sforzo. I neurotrasmettitori attivano con sempre maggiore frequenza le sinapsi perché le gambe, troppo lunghe, incrementino la frequenza dei passi mentre l'atleta inizia una straordinaria rimonta e, come scriverà Gianni Brera, «il suolo sembra fuggire sotto di lui».

Ci si sta avvicinando al traguardo. Mancano pochi metri, la mente, in debito di ossigeno, comincia un po' a vacillare. Il cervello dice al cuore: «Ancora più sangue». «Più di così non posso» risponde il cuore al cervello, «adesso dipende tutto da te; devi resistere e farcela.» «Ci provo» dice il cervello. La corteccia prefrontale sa che l'organismo dovrà raggiungere il limite delle possibilità umane per vincere, per andare oltre, al di là di quello che per un uomo e un atleta è possibile fare.

La corteccia motoria manda in continuazione impulsi ai neuroni motori midollari perché i muscoli si attivino ancora di più. È rimasto solo un uomo davanti, ma lo sforzo non è finito, bisogna superarlo. Ancora adrenalina, ancora scariche di impulsi che attraversano il cervello.

Mentre l'atleta in azzurro si tuffa disperato sulla fotocellula, la retina fotografa per l'ultima volta la posizione degli altri. L'amigdala esplode di gioia nel capire che adesso avanti non c'è nessuno. In un movimento istintivo, le aree che controllano i movimenti delle braccia si attivano e l'atleta solleva il capo e le braccia al cielo, puntando il dito indice in alto. La linea del traguardo è superata, si accendono i centri della gioia, si libera la dopamina, si attiva il nucleo accumbens, quello del piacere, l'ippocampo fissa in modo indelebile questo momento nel centro delle memorie più belle, la corteccia prefrontale segnala che la corsa è finita; ci si può fermare.

Pietro Mennea ha vinto. Il suo cervello è campione olimpico.

*Roma, ore 7.30 di un giorno qualsiasi, in un posto qualsiasi*

Un uomo si alza al mattino, saluta la moglie, prende un caffè, fa colazione, legge una e-mail. Poi esce e sale in metropolitana, legge il giornale, forse si addormenta un po'. Guardando la gente intorno a lui, non può non notare due ragazzi che si sorridono. Un momento di nostalgia porta altrove la sua mente e un involontario sorriso compare sul suo viso. Arrivato al lavoro si immerge nella ricerca di soluzioni a innumerevoli problemi fino a quando, finalmente, la giornata in un attimo passa e lui torna a casa. I bambini, la moglie, la cena, l'umore cambia e la sua mente abbandona i problemi. Poi va a letto, e sogna.

In tutto questo percorso, che a noi appare noioso e senza emozioni, senza che nessuno lo avverta, un organo lavora incessantemente in modo che tutto quello che quell'uomo incontra e fa segua una linea logica e rimanga come bagaglio di conoscenza, emozioni, memoria, esperienza: *il nostro cervello*. Al suo interno, sempre, anche nei momenti più tranquilli della nostra giornata, ferve un'attività continua; miliardi di segnali elettrici lo attraversano per consentire alle cellule di parlare tra loro, miliardi di impulsi chimici si attivano per permettere ai neuroni di lavorare per noi. Durante la lunga giornata, tutte le funzioni più complesse del cervello di quell'uomo si sono attivate, hanno scatenato emozioni, hanno richiamato ricordi, hanno inviato messaggi da un'area a un'altra per stabilire connessioni e permettere alla coscienza, o alla creatività, o all'immaginazione, o al pensiero, di esprimersi.

Come un racconto comincia per noi il viaggio all'interno di quest'organo meraviglioso che è il nostro cervello. Nelle pagine che seguono vedrete quant'è entusiasmante.

# 3
# La meraviglia del cervello e delle sue cellule

*Il cervello è più ampio del cielo*
*Perché, se li metti fianco a fianco*
*L'uno l'altro conterrà*
*Con facilità, e te in aggiunta.*
Emily Dickinson

Le immagini passano veloci sullo schermo, una sequenza dopo l'altra. Alcune zone sono bianche ma diventano poi nere, il grigio si fa più o meno intenso. Si vedono solchi, protuberanze, vuoti. Una persona aspetta che l'altra interpreti. L'altra osserva le immagini che si susseguono, osserva i grigi, le diverse aree; sa che deve dare una risposta, ma prima vorrebbe averne una lui. A cosa serve, nel dettaglio, tutta quella massa che la risonanza magnetica mostra? Come funzionano quei miliardi di cellule? Dov'è la memoria, dove sono i sentimenti? Dov'è la coscienza? Quando deve crearsi un sogno, dove nasce? Che sta succedendo dentro quei tessuti che le immagini, passivamente, stanno

rivelando? Lui è in grado di riconoscere le aree motorie, quelle visive o quelle del linguaggio; ma tutto il resto? E, soprattutto, riuscirà a curare il paziente?

La risposta al paziente è facile, ma allo stesso tempo difficile da dare: c'è un tumore che sta piano piano sostituendosi al tessuto cerebrale. La riposta difficile è quella alle altre domande. Quel tessuto che sta crescendo, in che modo modificherà la psiche di quell'uomo? Quanti ricordi e quante emozioni cancellerà senza che lui ne abbia consapevolezza, perché li avrà dimenticati? Nella vita normale succede anche a noi, e non lo sappiamo?

Entrambi rimangono colpiti, uno per la diagnosi, l'altro per la difficoltà di capire fino in fondo i misteri del cervello e quelli della malattia.

Voglio cominciare questo capitolo invitandovi a chiudere gli occhi e a immaginare una notte serena, illuminata da un cielo pieno di stelle.

Quante volte, pensando ai miliardi di galassie che ruotano sopra la nostra testa, siamo rimasti attoniti e meravigliati per la straordinaria bellezza dello spettacolo e del mistero che ci circonda!

Ma la realtà è che la vera meraviglia dell'universo è esattamente dentro di noi.

Immaginate di portare tutti quei miliardi di stelle dentro la vostra testa, di chiamarle neuroni e di connetterle tra loro: avrete la rappresentazione del nostro cervello. Dall'azione di tutte quelle stelle nascerà tutto ciò che ci caratterizza come esseri umani. Chi siamo, come agiamo, perché ci innamoriamo, la nostra coscienza, i nostri pensieri, ciò che chiamiamo *mente*. Pensate all'enorme complessità del rapporto tra cervello e mente, problema che ha interessato i filosofi fin dall'antichità, da Democrito, Platone, Aristotele. Il fascino del cervello, nei secoli scorsi, ha appassionato anche artisti straordinari. Leonardo lo ha riprodotto in sublimi tavole scientifiche; Michelangelo, nel pannello della Creazione di Adamo della Sistina, ha avvolto il Signore e gli angeli in una nuvola che è una riproduzione dettagliata del profilo del cervello, quasi a voler dire che questo è il dono più importante che sia stato dato all'uomo.

Il cervello è l'organo più meraviglioso e misterioso dell'universo; è la struttura più complessa dell'intero sistema solare conosciuto. Secondo

Michio Kaku, professore di Fisica Teorica al City College e alla City University di New York, il nostro cervello è la struttura capace di immagazzinare più informazioni in tutto il sistema solare o, addirittura, in tutto il nostro settore della Via Lattea.

Per descrivere la composizione di quest'organo dobbiamo usare cifre da capogiro. Consta di quasi 100 miliardi di neuroni (per la precisione, 86 miliardi, dicono gli esperti!), la cosiddetta *sostanza grigia*, capaci di realizzare milioni di miliardi di connessioni.

In un cervello umano adulto vi sono più di 150mila miliardi di sinapsi, e gli assoni, le lunghe fibre di connessione tra le cellule, le superstrade del cervello, la *sostanza bianca*, coprono una lunghezza totale di circa 160mila chilometri, più di un terzo della distanza dalla Terra alla Luna, quattro volte la circonferenza della Terra all'Equatore. Si pensa che il cervello possa eseguire fino a 38 miliardi di operazioni al secondo.

Come da tutto questo incredibile, apparente caos, come da questa materia grezza possa scaturire un pensiero intelligente, è uno dei misteri più grandi dell'universo.

Ma è proprio l'azione integrata di questa moltitudine di neuroni e di fibre che ha permesso all'uomo di pensare alla precisione delle leggi della Fisica, di produrre le emozioni di un'opera di Mozart o la straordinaria bellezza di un dipinto di Raffaello e, infine, di elevarsi all'idea trascendente di Dio.

Già nell'antichità, un greco che nei secoli successivi avrebbe influenzato profondamente la medicina, Ippocrate di Cos, diceva ai suoi studenti: «Dal cervello provengono i nostri piaceri, le gioie, le risate e gli scherzi, così come i nostri dispiaceri, i dolori, le lacrime; attraverso esso noi pensiamo, vediamo, ascoltiamo e distinguiamo il brutto dal bello, il cattivo dal buono, il piacevole dallo spiacevole».

Tutto questo con un consumo pari a circa 15 watt l'ora, meno del consumo di una vecchia lampadina a incandescenza. Nessun computer al mondo, almeno finora, è in grado di batterci.

Possiamo dire che tutto quanto facciamo è opera del nostro cervello. Senza cervello non ci sarebbero pensiero, emozione e immaginazione. Anche il cielo stellato di cui parlavo prima ci appare meraviglioso grazie al nostro cervello.

Anche l’arte, tra le manifestazioni più elevate dell’intelletto umano, capace di suscitare emozioni straordinarie, rappresenta una testimonianza preziosa sul funzionamento della mente.

Di certo qualunque manifestazione artistica, anche la più stravagante o quella apparentemente più irrazionale, nasce nel cervello. Anche nella semplice osservazione di un’opera d’arte, come ci capita tutte le volte che entriamo in un museo o quando siamo colpiti dalla bellezza di una cattedrale o di un dipinto, è il cervello che attribuisce un significato ai segnali che riceve, per permetterci di acquisire nuove conoscenze e fare nuove esperienze.

Viene dal nostro cervello anche l’identità che ognuno di noi ha di sé; è lui che ci suggerisce a cosa pensare e costruisce per noi l’immagine del mondo che ci circonda, che è il risultato dell’elaborazione di tutte le nostre esperienze. Confida a noi, e solo a noi, le sue riflessioni, le sensazioni, le conclusioni a cui giunge. Per tutto ciò che sappiamo, dobbiamo ringraziare il cervello. In ultima analisi, noi siamo il nostro cervello; senza di lui, noi, come siamo nella realtà, non esisteremmo.

Tuttavia, la comprensione di molto di quello che succede nel nostro cervello ci sfugge. Cominciamo a cogliere alcuni dei meccanismi della memoria e a capire che, anche se è una funzione complessa, tutto sommato, potrebbe rivelarsi accessibile. Ma la coscienza, il pensiero, la mente, ciò che ci spinge sempre avanti e ci regala la meraviglia del sapere e della conoscenza, ci portano in un mondo che ancora non riusciamo a cogliere, richiedono un passaggio dal materiale al concettuale che il nostro intelletto non è ancora in grado di capire.

Francis Crick, uno degli scopritori del DNA, diceva: «Voi, le vostre gioie e i vostri dolori, i vostri ricordi e le vostre ambizioni, il vostro senso di identità personale e la vostra libera scelta non siete altro che il risultato di un vasto assemblaggio di cellule nervose e delle loro molecole collegate».

Ma il miracolo, anche se incomprensibile per la nostra mente, sta proprio qui, in questo salto inebriante dalle molecole al pensiero, dagli atomi a Bach, vertice dell’intelligenza umana.

Adesso, con un viaggio a ritroso, dopo aver parlato dell’immensamente grande, voglio tornare all’immensamente piccolo, ai neuroni, alle cellule che costituiscono la struttura base del nostro cervello, senza i quali anche

l'immensamente grande potrebbe esistere.

*Neuroni e sinapsi: i mattoni del nostro cervello*

«Ci sono miliardi di neuroni nel cervello, ma cosa sono i neuroni? Solo cellule. Il cervello è all'oscuro di tutto finché non vengono stabilite connessioni tra i neuroni. Tutto ciò che sappiamo, tutto ciò che siamo, deriva dal modo in cui sono collegati i neuroni»: questo dice Tim Berners-Lee, direttore del World Wide Web Consortium and Foundation.

I neuroni, con le sinapsi che li connettono, sono gli elementi costitutivi del nostro cervello, i mattoni necessari per la sua costruzione, le strutture dal cui corretto e ordinato funzionamento scaturiscono tutti i pensieri e le emozioni. Al contrario di tutte le altre cellule, quelle del cervello, nella grande maggioranza, sopravvivono per l'intera durata della nostra esistenza così da conservare, nel corso degli anni, le nostre memorie e quindi permetterci di rimanere noi stessi un giorno dopo l'altro.

Anche se molto del cervello ci è ignoto, possiamo cercare di capire quale sia il modo di organizzarsi e di funzionare dei neuroni, cioè delle cellule della nostra intelligenza.

Una caratteristica fondamentale dei neuroni è quella di poter comunicare gli uni con gli altri in maniera rapida, anche a grande distanza, e con un'eccezionale precisione.

Ogni volta che si pensa qualcosa o si vuole compiere un'azione, si attivano delle reti neurali nelle quali i neuroni scambiano fra loro informazioni su ciò che si sta pensando, sentendo o facendo.

I neuroni, con i loro prolungamenti, sono come gli alberi e, come i rami degli alberi sono fatti per catturare luce, i neuroni, con le loro ramificazioni, sono fatti per catturare contatti. Ogni volta che stringiamo una mano, accarezziamo un bambino, abbracciamo la persona che amiamo, capiamo che la vita dipende fortemente dai contatti fisici. E anche i neuroni si toccano!

Nessuna cellula può funzionare da sola. Ogni neurone è connesso a migliaia di altri che a loro volta si collegano ad altre migliaia e così via, in una rete gigantesca, tortuosa e aggrovigliata. Il cervello, a qualunque

livello lo si osservi, è una rete. È l'operazione organizzata dei nostri milioni di neuroni che ci rende intelligenti.

Un punto cruciale di tutto questo lavorio si realizza alla giunzione tra due cellule, là dove avviene la trasmissione dell'informazione. Questa giunzione, in cui le terminazioni di due neuroni si affrontano pur restando separate da uno spazio microscopico, è detta sinapsi. Quando un neurone si attiva, si genera un segnale elettrico che attraversa tutto l'assone, cioè il suo prolungamento, fino a raggiungere la sinapsi. Nella sinapsi l'arrivo dell'impulso determina la liberazione di messaggeri chimici, noti come *neurotrasmettitori*, i quali, attraversando lo spazio sinaptico, attivano i recettori dell'altro neurone e il segnale chimico viene convertito nuovamente in impulso elettrico e riprende a viaggiare nella fibra nervosa per portare l'informazione ad altre cellule e attivare altri neuroni. Questi segnali elettrici costituiscono il linguaggio con cui le cellule si parlano.

Per capire l'importanza delle sinapsi è sufficiente fare una considerazione: le sinapsi sono alla base di tutte le funzioni svolte dal nostro cervello, inclusi i processi cognitivi, quali l'attenzione, la percezione, l'apprendimento, i processi decisionali, così come l'umore e l'affetto. L'apprendimento è semplicemente la creazione di sinapsi. Grazie alla loro funzione di mediare il trasferimento dell'informazione tra le cellule nervose, le sinapsi sono strutture fondamentali del cervello; sono i mattoni alla base della realizzazione del progetto «intelligenza umana».

Quando il cervello costruisce una nuova traccia di memoria non crea una nuova cellula cerebrale, un nuovo neurone, dentro cui mettere il dato, piuttosto crea nuove connessioni tra le cellule cerebrali, nuove sinapsi, oppure rinforza connessioni già esistenti.

La corteccia cerebrale umana ha un volume 2,75 volte più grande di quella dello scimpanzé, ma ha solo 1,25 volte più neuroni: ciò significa che è soprattutto lo spazio occupato dalle reti di connessione e dalle sinapsi a rendere uniche le funzioni della corteccia umana.

La quantità di sinapsi che sono dentro la nostra testa è incredibile. Se il numero di neuroni è di 10 elevato alla 11, quello delle sinapsi è di 10 elevato alla 16. In ogni istante, in ogni cervello umano, milioni di impulsi elettrici si inseguono come scie luminose in un luna park, sfrecciando lungo l'assone fino a 480 chilometri orari, mentre quantità

innumerevoli di sostanze chimiche saltano da una cellula all'altra mandando informazioni. Studiando il nostro cervello e pensando ai miliardi di fibre che vi s'intrecciano, non è strano che si abbia l'impressione che vi regni una gran confusione; ma certamente è una confusione «ordinata», se è capace di far venire fuori, da tutto questo apparente disordine, un pensiero intelligente. E questo è uno dei misteri più grandi dell'universo.

D'altra parte, tutta questa complessità ci fa anche capire quanto fragile sia la nostra mente, come possa bastare poco per fare inceppare uno dei tanti circuiti di questa macchina straordinaria e come una minima deviazione del meccanismo possa determinare la comparsa di gravi malattie mentali.

Alla base dei processi svolti nelle sinapsi, essenziali per tutte le funzioni del nostro cervello, comprese quelle che regolano e controllano la nostra vita emotiva e i nostri pensieri, un ruolo cruciale è svolto dai neurotrasmettitori, dalla chimica.

Se si considera che nei miliardi di sinapsi la trasmissione dell'informazione avviene grazie alla liberazione di un segnale chimico, si comprende l'importanza della chimica per il corretto funzionamento del cervello.

I neurotrasmettitori presenti nel nostro sistema nervoso sono tanti, ognuno collegato a circuiti neuronali o ad aree con differenti funzioni. Ne sono stati scoperti finora più di un centinaio. Ne segnalo solo alcuni: la dopamina agisce nella regolazione del movimento e nei meccanismi del piacere; l'adrenalina (o epinefrina) svolge un'azione eccitatoria, con effetti sul risveglio e sull'attenzione; la serotonina è importante per la regolazione dell'umore, dell'impulsività e dei meccanismi del sonno; l'acetilcolina, il neurotrasmettitore più abbondante nel cervello umano, è mediatore di vie nervose implicate nella trasmissione di segnali motori verso i muscoli scheletrici e nell'attivazione cerebrale e agisce su movimento, memoria, motivazione e sonno; le endorfine, utili per la sopportazione del dolore, vengono rilasciate durante un esercizio fisico, un'attività sessuale, o quando si prova dolore; l'ossitocina, oltre ad avere un ruolo importante nel momento del travaglio e dell'allattamento, è considerata l'ormone della fedeltà e dell'amore, importante per la costruzione dei legami sentimentali; e tanti altri.

Essendo in grado di modulare le informazioni che viaggiano attraverso i miliardi di percorsi cerebrali, queste molecole esercitano un potente effetto sull'umore, le emozioni, i pensieri e gli stati mentali.

Questo dato permette di fare un aggancio con un argomento di estrema importanza, e cioè quello dell'effetto che le droghe e l'alcol hanno sul cervello. Se consideriamo, infatti, che le droghe, essendo sostanze chimiche, agiscono proprio legandosi ai recettori dei neurotrasmettitori e alterando il corretto funzionamento della trasmissione delle informazioni, che di conseguenza vengono distorte, capiamo quanto il loro uso possa modificare il normale funzionamento del cervello. Di tutto questo si parlerà nel capitolo 5.

### *Il cervello impara tutta la vita*

Una delle caratteristiche più importanti delle sinapsi, e quindi del cervello, è la plasticità, cioè la capacità di cambiare struttura e funzione in risposta a stimoli esterni, la capacità di continuare a imparare.

Per anni la medicina e la scienza hanno sostenuto la convinzione che l'anatomia del cervello fosse immutabile. La scoperta più rivoluzionaria dei nostri tempi è che, in ogni momento, il cervello è in grado di modificare la propria struttura e le proprie funzioni attraverso il pensiero e l'attività, che è progettato per essere continuamente modificato dall'attività dei neuroni.

Ogni volta che ascoltiamo qualcosa che ci interessa o parliamo con degli amici, o leggiamo qualche pagina di un libro, qualcosa si muove tra i nostri circuiti neuronali, il nostro cervello cambia, si modificano le nostre sinapsi.

Le connessioni sinaptiche col passare del tempo, a seconda della storia delle nostre esperienze, possono diventare più forti o più deboli e quindi veicolare in modo diverso le informazioni attraverso la rete neurale. Se una connessione diventa debole, si deteriora, svanisce e trascina nel nulla l'informazione che veicolava; se diventa più forte, riesce a far germogliare nuove connessioni e a rendere quell'informazione più vivida e duratura. Possiamo dire che nulla è statico nella nostra testa e che, quindi, il talento, la capacità cognitiva di ognuno di noi, può cambiare con l'esperienza e l'impegno; chiunque può

sempre raggiungere nuovi traguardi.

Le sinapsi vanno incontro a cambiamenti continui, nel corso di una stessa giornata. Durante il sonno, per esempio, il cervello compie un'importante operazione: taglia una buona parte dei nuovi collegamenti che si sono creati durante il giorno in conseguenza degli stimoli ricevuti e cancella gli apprendimenti che vi sono legati. Ogni notte le migliaia di miliardi di sinapsi della nostra corteccia si assottigliano di circa il 20 per cento. Ma perché? Si tratta di un'operazione solo apparentemente dissennata dal momento che il taglio è indispensabile per evitare che il cervello raggiunga un livello di ingolfamento informativo. Così invece, la mattina dopo, rimosso quello che è stato ritenuto meno importante, si è pronti a fare tesoro di nuove esperienze e a imparare tante cose nuove; in pratica, abbiamo creato pagine bianche su cui scrivere cose nuove e più interessanti.

Questo meccanismo, detto *omeostasi sinaptica*, consente di riequilibrare la crescita dell'attività sinaptica che si verifica durante il giorno, permettendo così la continuazione dell'apprendimento e la formazione di nuovi ricordi.

Gli scienziati hanno anche scoperto che, se i neuroni vengono esercitati, possono elaborare i dati più rapidamente. Questo significa che anche la velocità del nostro pensiero è plastica. La rapidità della mente è essenziale per la nostra sopravvivenza: se il cervello è lento, può perdere informazioni importanti.

La neuroplasticità è più rilevante nell'età infantile. In questo periodo il cervello apprende e modifica le sue reti neurali semplicemente con l'esposizione al mondo esterno; come dire, la macchina per l'apprendimento è sempre accesa.

Cameron M. era una bambina di quattro anni quando, per curare una rara malattia responsabile di gravi crisi epilettiche non controllabili con i farmaci, le fu rimossa un'intera metà del suo cervello. Le conseguenze furono sorprendentemente modeste: a parte una lieve debolezza nel lato controlaterale del corpo, per il resto Cameron era essenzialmente indistinguibile dagli altri bambini della sua classe. Com'era stato possibile? Non che la metà rimossa non fosse necessaria, ma era successo che il rimanente cervello si era riorganizzato dinamicamente per prendersi carico delle funzioni mancanti, essenzialmente accumulando tutte le operazioni in metà spazio. Un recupero

neurologico così straordinario fu possibile solo grazie alla grande plasticità del cervello infantile e alla straordinaria abilità di ritarare tutte le reti neuronali e tutte le connessioni in modo da supplire a quanto era stato perso.

Con l'andare avanti negli anni, quando le connessioni neuronali di base sono state stabilite, è necessaria una maggiore stabilità e quindi la plasticità del sistema si riduce. Ma la cosa importante è che non scompare. Anche quando i principali cambiamenti strutturali della nostra identità e personalità sono terminati e il nostro cervello sembra essere pienamente sviluppato, la scienza ci dice che non è proprio così: anche nell'età adulta, ogni volta che apprendiamo qualcosa, il cervello cambia se stesso; anche nell'età matura il cervello si mantiene plastico e può cambiare.

Per dare un'idea di quanto rilevanti, anche anatomicamente, siano i cambiamenti legati alla plasticità cerebrale di un adulto, voglio portare l'esempio dei guidatori di taxi di Londra. Per passare il *Knowledge of London*, una prova che richiede la memorizzazione dell'intera mappa stradale della città, i tassisti devono sottoporsi a quattro anni di addestramento intensivo. Nei loro cervelli, in seguito a questi esercizi, gli scienziati hanno trovato evidenti segni di cambiamenti: la parte posteriore del loro ippocampo, area vitale per la memoria, in particolare per la memoria spaziale, è più ampia che nei controlli. Inoltre, più a lungo i tassisti esercitano il proprio mestiere, più questo cambiamento diventa evidente. Questo vuol dire che l'ippocampo, il GPS del nostro cervello, aggiorna e amplia continuamente il suo programma di navigazione durante tutta l'età adulta. E lo stesso succede in altre parti del cervello.

È la neuroplasticità, sempre attiva, che ci permette di mantenere funzioni cerebrali importanti, sebbene con l'età molti neuroni si perdano. E di questo non ci rendiamo conto, anche se spiega perché alcune persone giungano alla senescenza con un cervello ben funzionante, e altre vi arrivino in condizioni meno buone. Ma spiega anche le straordinarie proprietà sensitive e cognitive che alcuni manifestano, pur avendo perso, per il normale processo di invecchiamento, oppure per malattia, qualche importante funzione sensoriale.

Alcuni casi sono eclatanti e noti a tutti.

Ludwig van Beethoven, quando ancora non aveva raggiunto l'età della senescenza, perse l'udito. Tuttavia continuò a scrivere musica; compose la *Nona sinfonia* e le ultime sonate per pianoforte; provò anche a dirigere un'orchestra. Ciò fu possibile perché la lenta perdita dell'udito fu compensata dallo sviluppo di capacità sensoriali che ampliarono altre percezioni, come quella visiva o quella legata agli stimoli tattili. La vista di uno strumentista che suonava o la percezione delle vibrazioni dello strumento, producevano potenziali elettrici che, sulla base di un riarrangiamento di connessioni tra le varie aree corticali, gli permettevano di «sentire la musica». Il suo cervello aveva modificato le sue connessioni e un input sensoriale, inizialmente non udibile, poté essere trasformato in informazioni che permisero alla corteccia uditiva residua di dare un significato ai segnali spuri che riceveva. Anche se i segnali che arrivavano alla sua corteccia uditiva erano differenti da quelli originali, il suo cervello, un po' alla volta, cominciò a dare loro un senso, attivando le funzioni che quelle aree avevano prima.

Questo fenomeno, chiamato *sostituzione sensoriale*, si riferisce alla percezione di informazioni che giungono attraverso canali sensoriali insoliti, come percepire uno stimolo visivo attraverso il tatto. In sostanza, il cervello capisce cosa fare con le informazioni che gli giungono, indipendentemente da quale via i segnali abbiano usato per arrivare.

Nel 1969, la rivista «Nature» pubblicò proprio un lavoro in cui si dimostrava che persone cieche potevano «vedere» oggetti anche quando l'informazione giungeva attraverso una via insolita.

Per capire quello che succede dobbiamo pensare che, dal punto di vista fisiologico, vedere, udire o provare una sensazione tattile consistono in una diffusione di segnali elettrici, tutti uguali, all'interno della nostra testa. Se parliamo di visione, la trasmissione dei potenziali elettrici avviene attraverso i nervi e le vie ottiche, ma non vi è motivo per cui quei potenziali non possano diffondersi attraverso una via diversa dai nervi ottici. E se questo succede, il cervello non può sapere da dove quell'informazione è giunta, e risponde nel solo modo di cui è capace, e cioè producendo un'immagine visiva se la cellula eccitata appartiene alla corteccia visiva, oppure un suono se invece appartiene alla corteccia uditiva. In questo modo, un'area corticale non più connessa alle strutture nervose specifiche può essere attivata per vie insolite e acquisisce la

capacità di ricevere, anche se in modo atipico, informazioni che altrimenti non avrebbe più avuto la capacità di recepire.

In questo processo, un ruolo importante lo gioca anche la memoria. Beethoven era sordo ma sicuramente era in grado di «sentire» la musica anche se i suoni non passavano più per le orecchie. E ciò in parte per la sua memoria dei fatti passati, perché ricordava quale suono potesse generare il movimento di un archetto sulle corde di un violino o la pressione di un tasto su un pianoforte. Ma anche perché, sicuramente, le sensazioni visive dello spartito mandavano impulsi anche alle aree deputate all'udito e quindi «sentiva» la musica sulla base di ciò che vedeva, acquisendo così, grazie alla sua menomazione, una straordinaria capacità di multisensorialità.

L'incrocio insolito di stimolazioni sensoriali avviene anche in persone senza deficit percettivi, ma nelle quali si realizza una sorta di contaminazione dei sensi. Questo fenomeno si chiama *sinestesia* e consiste in una situazione in cui la stimolazione di una modalità sensoriale induce automaticamente una percezione anche in una seconda modalità, in assenza di una seconda stimolazione specifica. Il caso più eclatante riportato in letteratura è quello della stimolazione audiovisiva, in cui chi ne è affetto percepisce suoni colorati e viceversa. Si dice che un famoso sinestetico sia stato il grande pittore Vasilij Kandinskij.

Tutti noi abbiamo connessioni tra le diverse aree corticali, ma di solito non ce ne rendiamo pienamente conto o non ne percepiamo l'importanza.

La sostituzione sensoriale è il principio su cui lavorano gli impianti cocleari e retinici, che oggi permettono di aiutare tante persone.

Altro esempio straordinario di personaggio a cui il passare dell'età ha causato la perdita di un senso, ma senza sminuirne, anzi accentuandone le capacità cognitive, è Andrea Camilleri. È come se la cecità avesse provocato in lui l'esasperazione degli altri sensi e un fiorire incredibile della creatività e della memoria. Ciò gli permette di essere autore di libri straordinari, come se riuscisse a «vederne» le pagine scritte, trasferendo poi con la parola quello che la sua mente ha costruito, affidandosi a una memoria straordinaria, a una «visione interiore» inesauribile. Se fosse possibile studiarne le connessioni cerebrali mentre «scrive», saremmo sbalorditi dalla complessità degli intrecci che le sue fibre neuronali compiono per dare origine a reti neurali che le sue

fantasie percorrono per posarsi, alla fine, su una pagina immaginaria che poi la parola trasforma in pagina di libro.

Un altro esempio ci porta a uno dei cervelli più famosi del XX secolo, quello di Albert Einstein. Quando fu esaminato esso non rivelò interamente i segreti del suo genio, tuttavia dimostrò che l'area del cervello preposta al controllo delle dita della mano sinistra si era espansa, formando nella sua corteccia una piega evidente. Questo dato, inizialmente fonte di stupore, fu poi spiegato grazie alla sua passione per il violino e alla sua abitudine di suonarlo.

Questi dati, come vedremo in un prossimo capitolo, ci dicono che le nostre sinapsi e il nostro cervello possono sempre cambiare e imparare; e questo può permetterci di preservare e potenziare le funzioni cerebrali anche quando la senescenza comincia a dare i suoi segnali.

Voglio chiudere questo capitolo sulle sinapsi suggerendovi di guardare la più bella rappresentazione di una sinapsi che mai sia stata dipinta, quella del contatto fra il dito di Dio e il dito di Adamo, affrescata da Michelangelo nel pannello centrale della Cappella Sistina. Quel contatto ci trasmette la più bella immagine della Creazione, la nascita della vita dell'uomo, come Michelangelo l'ha immaginata.

# 4
# La scoperta dei neuroni specchio

*Ecco perché gli scienziati perseverano nelle loro ricerche, perché noi lottiamo così disperatamente per ogni minuscolo frammento di conoscenza, stiamo svegli la notte cercando la risposta a un problema e scaliamo le cime più impervie per raggiungere il frammento successivo: per arrivare finalmente a quell'attimo di gioia in cui si prova l'emozione della scoperta.*

Richard Feynman, Il pia*cere di scoprire*

La *Traviata* è fra le più belle opere di Giuseppe Verdi, ispirata a *La signora delle Camelie* di Alexandre Dumas. Vi si narra la commovente storia d'amore tra Alfredo e Violetta. Gli appassionati di opera la amano per la bellezza della musica, per le emozioni che suscita, e sanno che, alla fine della travagliata vicenda, Violetta morirà. Eppure, per quante volte si sia vista quest'opera, ci si lascia trascinare dalla commozione e dal dolore per la tragica fine di questo amore. Ma perché ci succede questo, anche se conosciamo la vicenda e ne sappiamo perfettamente la fine?

Come tutto, anche questo è opera del cervello e, in particolare, di un meccanismo neuronale speciale, quello dei *neuroni specchio*, scoperti da Giacomo Rizzolatti, in collaborazione con Leonardo Fogassi e Vittorio Gallese.

Quando, nel 2000, una rivista scientifica chiese a un gruppo di importanti scienziati quali scoperte avrebbero modificato maggiormente il modo di pensare nel nuovo millennio, un grande ricercatore di origine indiana, Vilayanur Ramachandran, direttore del Center for Brain and Cognition di San Diego, indicò i *mirror neurons*, i neuroni specchio, paragonando questa scoperta a quella del DNA. La notizia di questa scoperta fu anche oggetto di un lungo articolo sul «New York Times».

Tutto avvenne, all'inizio degli anni Novanta, nel corso di alcuni esperimenti in cui, mediante elettrodi intracellulari, i ricercatori registravano nelle scimmie l'attività di alcuni neuroni localizzati in una delle aree che controllano i movimenti, l'area «premotoria». Ci si aspettava che questi neuroni si attivassero selettivamente quando la scimmia decideva di eseguire un movimento. I ricercatori furono molto sorpresi quando videro i neuroni attivarsi mentre la scimmia guardava uno di loro prendere del cibo, anche se essa non stava eseguendo nessun movimento visibile. Le sorprese furono due: la prima nasceva dal fatto che un neurone motorio si attivava per un'azione eseguita da un altro individuo; la seconda fu che lo stesso neurone si attivava quando la scimmia eseguiva lo stesso gesto. In altri termini, c'erano dei neuroni che si attivavano sia quando la scimmia compiva un'azione sia quando osservava lo sperimentatore compiere la medesima azione. Per questo queste cellule vennero chiamate *neuroni specchio*. Si dimostrò presto che questi meccanismi, oltre che nelle scimmie, erano presenti anche nell'uomo.

Con questa scoperta gli scienziati capirono che la visione dell'agire altrui non provoca, semplicemente e passivamente, una ricostruzione pittorica di quell'azione da parte del cervello dell'osservatore; vedere un'azione significa anche simularla nel proprio sistema motorio, ripeterla nel proprio cervello.

In seguito si scoprì una cosa ancora più straordinaria, e cioè che questo meccanismo «specchio» si attiva non solo per l'osservazione di un movimento ma anche davanti a emozioni e sensazioni provate dall'altro, indipendentemente dalla loro natura reale o fittizia. Ciò vuol

dire che quando noi osserviamo, nella vita reale o nella finzione di un film o di un'opera teatrale, qualcuno che si emoziona, piange o è felice, attiviamo una parte degli stessi circuiti neurali che lui sta attivando per provare quelle stesse emozioni e sensazioni. In pratica, viviamo quelle emozioni come se le provassimo noi stessi, attivando circuiti cerebrali in parte identici.

E questo spiega tante cose della nostra vita. Fin da quando è nato il teatro e l'uomo ha cominciato a rappresentare storie, noi uomini siamo stati ammaliati dai racconti. E anche il cinema, questa forma di racconto del nostro tempo, rispetta questa regola. Fin dai tempi del muto, grazie alla suggestione delle immagini e delle storie che racconta, il cinema ha avuto il potere di emozionarci; qualche volta ci ha fatto ridere, altre volte piangere, molte volte ci ha coinvolti per le sue qualità estetiche, ma anche per le sue suggestioni culturali, sociali e politiche. Sappiamo che sullo schermo è tutto finto, eppure ci commuoviamo, ridiamo, piangiamo, proviamo paura, le stesse emozioni del mondo reale. Adesso, grazie alla scoperta dei neuroni specchio, riusciamo a capire quali sono le ragioni della nostra partecipazione così forte a delle storie che viviamo come reali, pur sapendo che ciò che avviene davanti ai nostri occhi è fittizio; riusciamo a capire perché ci emozioniamo ogni volta, anche quando un film lo rivediamo più volte e ne conosciamo la storia; perché ci piace così tanto abbandonarci al piacere del racconto, metterci nei panni dei protagonisti, vivere le loro storie; perché ogni volta piangiamo con Alfredo quando Violetta muore.

Con la scoperta di questo meccanismo neuronale la scienza ci dice che siamo biologicamente costruiti per stare insieme agli altri, per provare le stesse emozioni degli altri; che possediamo un meccanismo biologico che ci rende sociali, che ci porta a considerare l'altro come noi stessi, che ci rende capaci di percepire e di comprendere le emozioni altrui, che ci fa entrare in empatia con un'altra persona e *simulare* letteralmente il suo dolore come se lo stessimo vivendo noi stessi.

«Se tu non senti la pena degli altri, non meriti di essere chiamato uomo» diceva Sa'dì di Shiraz, poeta persiano.

Tutto ciò è molto importante perché nella nostra esperienza quotidiana gran parte dei nostri comportamenti sociali dipendono dalla capacità di capire quello che gli altri hanno in mente per poter adeguare i nostri comportamenti. Nell'ambito delle scienze cognitive questa

capacità di vedere il mondo con gli occhi di un'altra persona e di elaborare un modello mentale dei pensieri, delle intenzioni e dei comportamenti altrui, viene chiamata *teoria della mente*.

La sofisticata teoria della mente della nostra specie è una delle facoltà più singolari e potenti del cervello umano. Non si basa sull'intelligenza razionale, quella che si usa per ragionare, dedurre cose eccetera, ma su una serie specifica di meccanismi cerebrali che si sono evoluti per dotarci di un grado di intelligenza sociale. I neuroni specchio costituiscono una rete di cellule capace di leggere la mente e forniscono la base fisiologica di certe abilità superiori che da tempo le neuroscienze cercavano di spiegare, come l'empatia, l'interpretazione delle intenzioni altrui, l'imitazione, il gioco di finzione, l'apprendimento del linguaggio.

Secondo alcuni scienziati, la teoria della mente sarebbe deficitaria nei bambini autistici, il che corrobora l'idea che alla base dell'autismo possa esserci una disfunzione dei neuroni specchio, una difficoltà a entrare in relazione con l'altro, a sviluppare empatia.

La scoperta dei neuroni specchio ci ha fatto fare un grande balzo indietro, di circa 75 o 100mila anni, quando l'*Homo sapiens* prese il sopravvento grazie alla superiorità del suo pensiero.

Molti scienziati e pensatori si sono chiesti come sia stato possibile che in una manciata di migliaia di anni, in quello che possiamo considerare un momento magico per la nostra civiltà, quel pensiero sia apparso, l'uomo abbia cominciato a creare strumenti e a perfezionarli, a edificare villaggi, pitturare grotte, costruire tombe.

Homer Smith, in un celebre vecchio libro, *Dal pesce al filosofo*, scrisse che l'uomo differisce dagli altri vertebrati perché, a un certo punto, «ha imparato a imparare». Molti scienziati sostengono che tutto questo sia successo perché in quella lontana alba della nostra civiltà, a un certo punto della storia dell'uomo, comparve la capacità di imitare, perché grazie ai neuroni specchio l'uomo poté iniziare il suo apprendimento per imitazione. L'imitazione, insieme al linguaggio, è una condizione indispensabile per l'apprendimento e per il progresso; senza di essa, la creatività serve a poco. Se, molti anni fa, quando un nostro antenato geniale scheggiò le prime pietre per potersene servire, nessuno dei suoi simili fosse stato in grado di imitarlo, non ci sarebbe stato alcun progresso. Lo stesso fu per il fuoco, per la ruota e per le

prime manifestazioni dell'arte.

Possiamo immaginare che, quando per selezione naturale un piccolo gruppo di individui appartenente alla specie *Homo sapiens* riuscì ad avere nei circuiti del cervello un numero sufficiente di neuroni specchio che permettevano loro non solo di capire gli altri ma anche di imitarne le azioni, ci fu il *grande balzo*; il loro cervello ebbe il substrato neurale necessario per la comparsa delle prime forme di comunicazione tra individui.

Secondo questa interpretazione, i neuroni specchio furono un meccanismo fondamentale per lo sviluppo, oltre che dell'emotività e dell'empatia, anche del pensiero e della creatività, e quindi, in estrema analisi, della cultura. Senza imitazione, ovvero senza comprensione dell'agire altrui, nessun legame duraturo e nessuna diffusione delle conoscenze sarebbero stati possibili.

Naturalmente, più tardi, il linguaggio contribuì fortemente a fare esplodere l'intelligenza umana. Senza di esso non saremmo stati capaci di trasferire conoscenze e far comparire quell'intelligenza collettiva che è la cultura, attraverso cui si tramanda il sapere, né avremmo potuto rinsaldare i legami necessari a mantenere saldo il gruppo sociale.

### *Dall'unione di due cellule al cervello adulto*

Due principi generali regolano il piccolo miracolo che porta al cervello maturo, con i suoi miliardi di neuroni tutti rigorosamente funzionanti e tutti al posto giusto: la lentezza e il succedersi di fasi di costruzione e di fasi di eliminazione. Vediamo in cosa consistono.

Cominciamo dalla lentezza. La formazione del cervello che abbiamo alla nascita, in massima parte programmata dai geni, si realizza lentamente nel corso dei nove mesi della vita intrauterina. Ma, alla nascita, noi esseri umani, al contrario di quasi tutti gli altri animali, siamo ancora impotenti; passiamo un anno senza essere in grado di camminare e di parlare, e ne passiamo altri due prima di poter elaborare pensieri compiuti, e molti di più prima di essere in grado di difenderci da soli.

Questa lenta maturazione del sistema nervoso, che occupa un quarto o un quinto della nostra vita, è quello che ci permette di creare il cervello

più evoluto che si conosca; è il tempo necessario perché ognuno di noi possa imprimere allo sviluppo della mente un'impronta personale che risentirà delle esperienze e dell'ambiente in cui vive. Sono le esperienze della vita che plasmeranno i più piccoli dettagli del nostro cervello; e poiché esse sono uniche, uniche saranno le nostre reti neurali. «Siamo lavagne su cui molto è scritto, ma appare solo se la luce, ossia l'esperienza, le illumina» dice Giacomo Rizzolatti. In sostanza, il nostro cervello è cablato dal vivo.

A differenza del genoma, cioè dell'insieme dei nostri geni, che è fisso dal momento del concepimento, il *connettoma*, cioè l'insieme di tutte le innumerevoli connessioni neuronali del cervello, cambia lungo tutta la vita perché i neuroni aggiustano o rimodulano le loro connessioni, rafforzandole o indebolendole, creando o eliminando sinapsi, facendo crescere o retrarre filamenti. In questo modo, le esperienze del mondo, la cultura che ognuno di noi accumula, contribuiscono a plasmare le reti neurali, ed è questo che fa di ogni cervello un'entità unica, differente da qualunque altra. In questo senso «noi siamo molto più che i nostri geni, noi siamo l'attività dei nostri neuroni» scrive Sebastian Seung nel suo libro *Connectome.*

Il secondo principio che regola lo sviluppo del nostro cervello appare alquanto bizzarro. Lungo tutto l'arco della vita, per quanto strano possa sembrarci, la costruzione del cervello che alla fine caratterizzerà ognuno di noi non avviene in modo lineare e progressivo dall'embrione all'uomo adulto, bensì a salti, con il succedersi di fasi di costruzione e di eliminazione, come se l'architetto fosse un bambino capriccioso che ogni tanto, non contento dei risultati raggiunti, si divertisse a buttare giù i Lego già assemblati.

Il nostro racconto comincia alla fine delle prime otto settimane: l'embrione umano presenta già abbozzi di quasi tutti gli organi del corpo, ma il cervello è l'organo che è cresciuto più rapidamente e rappresenta da solo la metà della grandezza totale. Fra il terzo e il sesto mese di vita intrauterina la proliferazione neurale prenatale raggiunge l'apice: in una delle aree del cervello, l'area 17 di Brodmann, vengono prodotte circa mezzo milione di sinapsi al secondo.

Ma durante gli ultimi mesi di gestazione il cervello subisce una drastica riduzione cellulare dal momento che molte cellule, non più

necessarie, muoiono.

«Il sistema nervoso agisce attraverso processi drastici di eliminazione di popolazioni eccedenti il fabbisogno» scriveva il premio Nobel Rita Levi Montalcini molti anni fa.

Ma quali sinapsi o neuroni si eliminano? C'è una regola molto semplice: la sopravvivenza dei neuroni in via di sviluppo è legata alla loro capacità di stabilire connessioni con altre cellule. Quando una sinapsi partecipa con successo a un circuito, si rafforza; per contro, se non sono utili, le sinapsi si indeboliscono e infine vengono eliminate. Proprio come accade per i sentieri in un bosco, quelli che non sono usati vengono cancellati.

In questo modo, scompaiono tutti i neuroni che avrebbero dato vita a circuiti aberranti e prende corpo l'architettura del nostro cervello, articolata sulle reti di cellule che sono riuscite a dare prova della loro capacità di funzionare. La natura fa come facciamo noi quando scriviamo un articolo: mettiamo sulla carta tutto ciò che pensiamo, e poi cominciamo a tagliare. In genere, il lavoro finisce non solo quando non vi è più nulla da aggiungere ma, soprattutto, quando non vi è più nulla da tagliare. E così è per il cervello. In questo modo, la morte progressiva di cellule è il meccanismo che scolpisce, a mano a mano che l'embrione cresce, la forma definitiva della mente, rimuovendo tutto ciò che le sembra inutile.

Una volta nati, il processo di formazione del cervello non è per niente più regolare di quanto fosse nella pancia della mamma. Nell'infanzia, infatti, e fino alla tarda adolescenza, avviene una seconda ondata di proliferazione neuronale, dopodiché si attiva nuovamente una strategia di potatura, il cosiddetto *pruning sinaptico* per cui, a mano a mano che si cresce, il 50 per cento delle sinapsi viene eliminato così da stabilire una maggiore efficienza funzionale nei circuiti cerebrali rimanenti.

Molti dati sperimentali evidenziano il ruolo fondamentale di un ambiente amorevole e educativo nello sviluppo del cervello infantile. È la dimostrazione della grande importanza esercitata dall'ambiente che ci circonda e che ci plasma in ciò che diventeremo.

Tutto questo silente ma complesso lavorio porta lentamente, nel corso degli anni, al cervello adulto che raggiungerà il suo stato *maturo* solamente verso i 20-22 anni di età, e talvolta anche dopo.

In questo complesso gioco della natura, come in un puzzle complicatissimo ma realizzato alla perfezione, non solo ogni cellula raggiunge il suo posto nell'ambito delle diverse aree cerebrali, ma gruppi di neuroni acquisiscono caratteristiche molecolari, anatomiche e fisiologiche diverse fra loro, ponendo le basi per una diversità funzionale. In questo modo, i neuroni della corteccia motoria acquisiscono morfologia e modo di funzionare diversi da quelli della corteccia cerebellare o dalle cellule della sede della nostra memoria, l'ippocampo, o da ogni altra area cerebrale. È come un meraviglioso giardino, in cui tanti sono i fiori che progressivamente sbocciano, ognuno con una forma, un profumo e dei colori diversi, ognuno con un suo ritmo di crescita e un suo momento di fioritura, ma che, insieme, contribuiscono all'armonia del tutto.

Durante questo lungo sviluppo del cervello si assiste anche a una gerarchia nella maturazione delle diverse aree. Vista e udito si sviluppano nei primi mesi dopo la nascita, le aree del linguaggio raggiungono la loro capacità di funzionare dopo circa sette mesi, le funzioni cognitive più complesse cominciano a essere costruite solo dopo i due anni.

La parte del cervello che fa di noi quel che siamo, i lobi prefrontali, è l'ultima a maturare e quindi, più di qualunque altra, risente delle cose che la vita e l'ambiente ci mettono davanti e che, con la percezione e la neuroplasticità, modificano la struttura del cervello e quindi la nostra mente e la nostra psicologia. L'importanza dell'ambiente la si desume dal fatto che, allo stesso modo, può portare l'uomo a perseguire il bene oppure il male e la crudeltà.

Un neonato possiede già la quasi totalità dei tanti miliardi di neuroni che avrà da grande. La principale differenza tra il cervello di un bambino e quello di un adulto è che in quest'ultimo i neuroni avranno sviluppato trilioni di connessioni sinaptiche tra loro, ognuna delle quali sarà un apprendimento realizzato nel corso della vita. Per questo, quando parliamo con nostro figlio, quando lo baciamo, o semplicemente quando lui ci osserva, il suo cervello crea connessioni che saranno importanti per la sua vita da adulto. Ogni volta che imparerà qualcosa, il suo cervello svilupperà nuove connessioni.

Nel bambino, il cervello razionale, quello rappresentato dai lobi

prefrontali, è meno protagonista che nell'adulto. Il neonato viene al mondo con un cervello quasi privo di rilevanze e avvallamenti e si relaziona con il mondo principalmente attraverso il cervello emozionale. A mano a mano che impara e sviluppa nuove abilità, compaiono centinaia di miliardi di sinapsi e connessioni nervose che porteranno al volume del cervello adulto e alla comparsa delle rugosità che costituiranno le circonvoluzioni e i solchi. Solo intorno ai vent'anni anche il suo cervello razionale sarà pienamente maturo.

I bambini sviluppano una parte considerevole delle loro abilità intellettuali ed emotive attraverso l'osservazione e l'imitazione. Ogni volta che il neonato vede il padre pronunciare il suo nome, le sue aree di neuroni specchio cominceranno a imitare le sue labbra e la sua lingua. Ogni comportamento dei suoi genitori al quale assiste, positivo o negativo, verrà ripetuto nel suo cervello come uno specchio che riflette quello che vede. I neuroni specchio si esercitano in silenzio a replicare molti comportamenti dei genitori e programmano il cervello dei figli preparandolo a ripeterli in situazioni simili. Il cervello del bambino è una spugna e approfitterà di ogni occasione per imparare e per raggiungere il completo sviluppo. Come diceva Madre Teresa di Calcutta: «Non preoccuparti se i tuoi figli non ti ascoltano, ti osservano tutto il giorno».

# 5
# Dall’evoluzione del cervello la qualità della nostra vita

*Tutto in verità combacia alla perfezione; non c’è un’ombra, né l’ombra di un’ombra, né un ostacolo e neppure circostanza alcuna che lasci dubbi o incertezze.*

William Shakespeare, *La dodicesima notte*

La storia che voglio raccontare adesso è un esempio perfetto di cosa sia la neurochirurgia e di quanto complessi e affascinanti siano gli interventi al cervello.

È la storia di Fabio, un ragazzo di 35 anni, medico presso il nostro ospedale, amico di tanti miei assistenti, molto amato da tutti. Gli fu scoperta una massa nel lobo temporale di sinistra, in prossimità delle aree del linguaggio. Per capire meglio la relazione tra la posizione della massa di cui Fabio era portatore e le aree cerebrali fu effettuata una risonanza magnetica funzionale. Si vide che il tumore era incastrato tra le due aree del linguaggio e circondato dal fascicolo che le congiunge.

La sua rimozione aveva, pertanto, un alto rischio di provocare una limitazione, parziale o completa, della capacità di parlare e di comprendere le parole. Si decise di operare Fabio da sveglio, in modo da poter testare continuamente, durante tutto l'intervento, le sue capacità di espressione e ideazione verbale. Si cominciò a operare con una lieve sedazione, per permetterci di arrivare a esporre il lobo cerebrale temporale di sinistra e, a quel punto, Fabio fu svegliato.

Il cervello non ha recettori che diano percezione di dolore per cui, una volta incisa la cute, rimosso l'osso e aperta la meninge, si può proseguire tranquillamente l'intervento sulle aree cerebrali senza che il paziente senta male.

La prima tappa dell'intervento, essenziale per la rimozione della massa, consistette nell'individuazione, per mezzo del neuronavigatore e dei dati forniti dalla RM funzionale, delle aree del linguaggio, in modo da pianificare l'asportazione chirurgica senza danneggiarle. Un secondo elemento di sicurezza consistette, nel corso dell'asportazione del tumore, nel chiedere al paziente di parlare in continuazione per valutare l'effetto provocato dalla stimolazione elettrica delle aree cerebrali che si pensava di rimuovere. Per valutare la funzione del linguaggio, infatti, è necessario che il paziente ne attivi le aree, quindi per esempio che parli, legga, riconosca alcune immagini che gli vengono mostrate. Se la stimolazione avesse bloccato il suo discorso, avrebbe voluto dire che quella porzione di tessuto cerebrale era coinvolta nei meccanismi del linguaggio e non doveva essere toccata. Periodicamente, quindi, veniva effettuata una stimolazione delle zone verso cui dirigevamo il nostro intervento per valutare se la procedura era innocua o dovevamo interromperla.

La sala operatoria era affollata da tante persone; alcuni seguivano i parametri e lo stato del paziente, altri si occupavano del controllo delle apparecchiature, altri erano attenti alle registrazioni dell'attività elettrica dalla corteccia. A questi bisognava aggiungere le infermiere e noi chirurghi. Malgrado ciò, il silenzio era assoluto. Si sentivano il rumore dei monitor e degli apparecchi di registrazione, la voce del chirurgo quando si rivolgeva alla ferrista e, su tutto questo, la voce di Fabio il quale, tranquillamente, come se fosse a una recita scolastica, leggeva Dante.

Se qualcuno, ignaro del tipo di intervento, fosse entrato in sala

operatoria, sarebbe rimasto perlomeno perplesso a vedere dei chirurghi che operano sul cervello di un paziente sveglio che recita poesie.

La rimozione del tumore fu completa e le prime risposte sulla sua natura indicarono che si trattava di un tessuto benigno. Il paziente si riprese perfettamente, con le funzioni linguistiche e motorie integralmente conservate.

Quando il giorno dopo entrai nella sua stanza, Fabio era sveglio, un po' confuso, ma in grado di parlare correttamente e di muovere tutto. Confesso che, guardando lui e la giovane moglie sorridenti, mi commossi. Pensavo a quanto si erano evolute la scienza e la medicina e come ci permettessero di fare cose straordinarie, grazie alle quali molti pazienti potevano essere salvati.

Uscii contento di essere un neurochirurgo e, pensando ai tanti giovani medici che negli anni avevano lavorato con me, sperai di essere riuscito a trasmettere loro l'entusiasmo per questa professione straordinaria, che richiede tanto studio e tanta passione, ma che, se ci si è preparati bene e se la si ama, col sorriso di un paziente ripaga di ogni sacrificio.

Il cervello umano si è evoluto per milioni di anni da forme più primitive fino a diventare l'opera più complessa della creazione. Inizialmente le sue funzioni erano rivolte a trovare cibo, evitare pericoli e cercare sicurezza; poi, lentamente, imparò a comunicare e a risolvere problemi complessi.

Nel corso della sua lunga evoluzione il cervello ha sviluppato una capacità straordinaria e affascinante, quella di «inglobare la sua storia», di custodire, quasi fosse un museo, i resti di tutte le fasi di un'evoluzione avvenuta nel corso di milioni di anni e che, come ultimo atto, ha visto lo sviluppo della corteccia cerebrale che ha avvolto, anteriormente e all'esterno, le strutture nervose preesistenti.

Questo percorso evolutivo ha plasmato un organo che, invece di trasformarsi in qualcosa di differente da quello che era, si è ampliato sviluppando nuove e più complesse funzioni senza perdere quelle di cui già disponeva. Nella configurazione attuale del nostro cervello possiamo quindi riconoscere sia le strutture più antiche, altamente specializzate in funzioni vitali e nell'elaborazione di emozioni, sia quelle più recenti, capaci di complesse operazioni intellettive.

La cosa affascinante è che nello sviluppo del cervello di ognuno di noi, dall'embrione all'età adulta, grosso modo viene seguito lo stesso percorso: il cervello si sviluppa allargandosi e proiettandosi in avanti, ripercorrendo, in un brevissimo tempo, gli stadi succedutisi in millenni di lenti e continui cambiamenti. Anche dopo la nascita, il lento completamento del cervello inizia da quello più antico e solo alla fine la corteccia, il cervello più recente, raggiunge la sua maturità.

Ripercorrendo le diverse tappe dell'evoluzione, possiamo schematicamente dividere il cervello in tre parti. La prima, risalente a circa 500 milioni di anni fa, è costituita dalle strutture più antiche ed è in pratica identica a quella dei *rettili*. Si trova nella parte posteriore e centrale del cervello e comprende il tronco dell'encefalo, il cervelletto e i nuclei della base. In essa troviamo le strutture che permettono al cuore di battere e ci consentono di respirare, quelle che regolano i nostri stati di veglia e di sonno, che percepiscono gli sbalzi di temperatura e il senso di fame, che ci permettono di muoverci in modo coordinato. In altri termini, queste strutture antiche controllano funzioni necessarie per la sopravvivenza e lo fanno senza mai fermarsi, ma in modalità completamente automatica; nessuno di noi si pone il problema di dover respirare o di modificare il battito del proprio cuore.

Nel progredire dell'evoluzione da rettili a *mammiferi*, il cervello è diventato più complesso e ha sviluppato strutture completamente nuove, quali il *sistema limbico*, sviluppatosi tra 200 e 300 milioni di anni fa al centro del cervello e sopra le strutture più antiche, quasi ad avvolgerle. Questa parte del cervello contiene le aree deputate all'elaborazione delle emozioni e al controllo dei comportamenti. Per gli animali che vivono in gruppi sociali, come le scimmie, svolge un ruolo importantissimo. Le aree più importanti che lo costituiscono sono: l'*ippocampo*, porta d'ingresso della memoria; l'*amigdala*, il luogo in cui nascono le emozioni; il *talamo*, una sorta di stazione di ritrasmissione che raccoglie i segnali degli organi dei sensi e li spedisce alle varie regioni della corteccia; l'*ipotalamo*, regolatore della temperatura corporea, del ritmo sonno-veglia, della fame, della sete e di alcuni aspetti della riproduzione e del piacere. Tutte queste strutture costituiscono il *cervello emotivo* e si attivano per evitare situazioni sgradevoli (minacce, pericoli, eventi che ci incutono paura) o per cercare e perseguire emozioni piacevoli (nutrirsi, stare con persone che ci fanno sentire sicuri, che ci dimostrano affetto,

che ci piacciono).

La terza e più recente regione del cervello umano, quella *razionale* che controlla i comportamenti più evoluti, è la corteccia cerebrale, la *neocortex*, lo strato più esterno dell'encefalo, comparso circa 100mila anni fa. L'area più coinvolta in questa evoluzione è la corteccia prefrontale, la parte più razionale del nostro cervello. Negli uomini la neocortex, nonostante sia sottile quanto un fazzoletto, è particolarmente sviluppata: corrisponde all'80 per cento circa della massa cerebrale ed è assai convoluta e ripiegata su se stessa. Queste pieghe rappresentano la soluzione a un problema evolutivo: come disporre all'interno della scatola cranica, in modo poco ingombrante, i quasi due metri quadrati che misura la corteccia una volta spiegata. Piegandola e ripiegandola, creando i solchi e le fessure, che a loro volta costituiscono le circonvoluzioni e i lobi, la natura ha fatto sì che il cranio potesse contenerla.

In questo modo, la natura, nel corso di una lunga e lenta evoluzione, ha salvato le strutture antiche e ha acquisito nuovi dispositivi senza sconvolgere quelli precedenti. Ha innanzitutto assicurato la sopravvivenza dell'individuo, difficile nel suo habitat primordiale; ha poi sviluppato le emozioni per dare una connotazione positiva ad azioni essenziali per la sopravvivenza, quali soddisfare la fame, la sete, la riproduzione sessuale; alla fine, e al vertice del processo di evoluzione e di maturazione, ha creato le funzioni razionali superiori, quelle che distinguono gli esseri umani dagli altri animali e ci permettono di avere coscienza di noi stessi, di comunicare, di ragionare, di metterci nei panni degli altri o di prendere decisioni basate sul pensiero più logico o intuitivo.

Pur essendo tutte e tre queste parti strettamente collegate da un'intricata rete di autostrade neuronali, vi sono differenze importanti nel loro modo di interagire. La parte di cervello più antico, quella del cervelletto e del tronco cerebrale, nel suo funzionamento è autonoma e, benché le sue funzioni siano vitali, solitamente non si ha consapevolezza del suo operare. Le altre due parti, quella emotiva e quella razionale, invece, interagiscono continuamente in un modo di rilevante importanza per l'evoluzione della specie umana.

Viene da domandarsi se quello che vediamo adesso sia il risultato

finale, definitivo, dell'encefalo, o se anche noi non rappresentiamo che una tappa intermedia nell'evoluzione del genere umano, alla quale seguirà un'ulteriore evoluzione del cervello con l'acquisizione di capacità oggi impensabili, tali da permetterci di entrare in quel mondo misterioso che oggi non conosciamo, di fare luce in quell'oscurità che avvolge ciò che ancora non sappiamo.

Certamente il cervello si evolve ed è logico pensare che si evolverà ancora. Tuttavia, come sarà il cervello dei secoli futuri, oggi non ci è dato saperlo.

### *Qualità della vita*

In ogni nostra azione, in tutte le attività che svolgiamo, la nostra finalità è quella di migliorare la qualità della vita, sia la nostra che quella degli altri.

Quello del rapporto tra funzionamento del cervello e qualità della vita è certamente un argomento dai tanti risvolti e che può avere molte chiavi di lettura.

Tra i tanti indicatori che possiamo utilizzare per definire la qualità della nostra vita ne vorrei sottolineare soprattutto tre: la felicità, la bellezza e le emozioni. Queste sono le cose a cui ognuno di noi aspira e che insieme ci portano ad avere una vita buona o cattiva o, talvolta, per pochi fortunati, straordinaria.

Ognuno di noi ha vissuto una primavera incantata e ricorda momenti di felicità; tuttavia la felicità è un dono raro e difficile e, per questo, prezioso e ricercato da sempre.

Anche nella Grecia antica il punto centrale era come vivere una vita felice! Per Aristotele, una vita felice aveva a che fare, prima di tutto, con quello che siamo: «Una vita felice è una vita che realizza le nostre potenzialità di esseri umani». E nell'universo aristotelico ciò che realizza la nostra natura di uomini è l'uso della ragione. Siamo veramente noi stessi e costruiamo una vita felice quando usiamo bene il nostro intelletto: quando pensiamo, quando conosciamo.

Dante, molti secoli dopo, nel XXVI canto dell'*Inferno*, fa dire a Ulisse: «Considerate la vostra semente: fatti non foste a vivere come bruti, ma per seguir vertute e canoscenza».

Aristotele e Dante ci indicano la strada per la felicità proclamando la superiorità dell'intelletto. E questo ci porta alla mente.

Anche la ricerca della bellezza, in cui arte e cultura sono strumenti importanti, può essere un elemento rilevante per il raggiungimento di quella qualità della vita alla quale tutti aspiriamo.

D'altra parte, anche la percezione della bellezza, intesa come massima espressione e realizzazione della nostra realtà, è parte del raggiungimento della felicità. Se ci pensiamo, noi siamo circondati dalla bellezza, tutto il nostro mondo è permeato di bellezza e di armonia, basta guardarsi attorno per scoprirlo negli elementi della natura e nelle opere dell'uomo, dai semplici fiori di campo, a un cielo stellato, alle opere dei costruttori e degli artisti di tutti i tempi. La bellezza ha anche una sua valenza morale, perché c'è bellezza tutte le volte in cui facciamo qualcosa che aiuta il prossimo. Possiamo dire che la bellezza fa bene, che bene e bellezza sono, in sostanza, legati l'uno all'altra.

Anche la bellezza ha a che fare con il cervello. Semir Zeki, il fondatore della neuroestetica, ha visto che le equazioni matematiche ritenute belle da una serie di scienziati attivano una parte specifica del cervello emozionale, nota come *field A1* della corteccia orbito-frontale mediale, la stessa che viene accesa dalla grande pittura, dalla grande musica, dalle opere d'arte. E quanto più è bella la formula, più intensamente si attiva quest'area. Il fisico inglese Paul Dirac scrisse che la teoria della relatività ha importato bellezza nella matematica. E scopriamo che aveva ragione Platone quando asseriva che la matematica è la forma più alta del sublime.

Tutto ciò rivela un legame affascinante tra l'organizzazione del nostro cervello e l'armonia del mondo in cui viviamo. Ci dice che la bellezza è una categoria intrinseca della nostra mente, che noi miriamo naturalmente alla bellezza. Lo sapeva bene Francis Bacon quando affermava che lo scopo del suo lavoro era provocare «uno shock visivo» e lo otteneva deformando e mutilando l'idea insita che abbiamo nel cervello della bellezza di un volto. Questo ci porta al cervello, misterioso, straordinario e complesso come l'universo che ci circonda, dal quale proviene tutto ciò che ci caratterizza come esseri umani. Da tutti i neuroni, le fibre che li connettono e le sinapsi che con i neurotrasmettitori ne permettono il funzionamento, dipende la qualità della vita dell'individuo, quella che ognuno di noi percepisce e che

s'identifica nell'esperienza della bellezza e nei momenti di felicità che la vita ci concede.

Molte sono le aree cerebrali che possono essere coinvolte nel perseguimento di questo obiettivo, ma voglio segnalare alcune strutture che ritengo essenziali. Si tratta di un neurotrasmettitore, la dopamina, e di tre aree cerebrali, il sistema limbico, la corteccia prefrontale, e un gruppo di neuroni chiamati neuroni specchio, che abbiamo già incontrato nel capitolo precedente.

La *dopamina* è il messaggero più importante tra quelli in gioco nei processi emozionali del piacere e della ricompensa; è detta il *mediatore chimico del piacere*. Tutte le volte che compiamo un'azione che ci dà piacere, quando ci innamoriamo, quando vinciamo una competizione sportiva, quando leggiamo un libro che ci appassiona, quando qualcosa ci rende felici, quando riusciamo a esprimere la nostra creatività o quando, semplicemente, vediamo una cosa bella, si attiva un meccanismo che porta alla produzione di dopamina e al desiderio di ripetere quell'esperienza che ci ha dato piacere.

Grazie a questo meccanismo, sfruttando la dopamina, la natura ci fa percepire come piacevoli alcuni comportamenti essenziali per la sopravvivenza, quali il mangiare, il bere, il riprodursi, e ci fa desiderare di ripeterli. La natura, in altre parole, ha fatto in modo di farci piacere attività che sono fondamentali per la nostra vita e per la riproduzione della specie, attività che sono proprie di tutti gli esseri animali. Immaginiamo cosa sarebbe successo se non ci desse piacere mangiare o bere, o se ci procurasse disgusto avere un'attività sessuale; l'umanità si sarebbe certamente già estinta!

In questo meccanismo di piacere e desiderio, entra prepotentemente un circuito cerebrale primordiale, che è parte del cervello più antico risalente com'è a milioni di anni addietro nella storia evolutiva dell'uomo. È il *sistema limbico*, deputato al controllo delle emozioni e degli istinti e ancora molto importante per la sopravvivenza umana. Le emozioni sono meccanismi biologici istintivi che ravvivano le nostre esistenze e ci aiutano nei compiti fondamentali della vita: cercare il piacere ed evitare il dolore. Sono quelle che ci spingono a fare la guerra ma anche l'amore.

In pratica, tutte le volte che sperimentiamo qualcosa di piacevole si attiva il meccanismo che porta alla produzione di dopamina, e questa va

ad accumularsi soprattutto in una piccola area del sistema limbico, il *nucleo accumbens*, detta il *centro del piacere* più istintivo. Quando questo nucleo viene coinvolto, i suoi neuroni dopaminergici attivano altre due strutture del sistema limbico che sono l'*amigdala*, deputata all'elaborazione delle nostre emozioni, e l'*ippocampo*, sede della memoria, area in cui si formano i ricordi.

L'amigdala è la parte del cervello che colora la nostra vita. Da lì partono le sensazioni che proviamo quando ci alteriamo per rabbia, per gelosia, per paura, o anche per amore; oppure quando ci divertiamo, ridiamo o piangiamo. L'amigdala è fortemente connessa all'ippocampo.

Tutto quello che colpisce emotivamente l'amigdala viene trasmesso, con forza, all'ippocampo e fissato nelle aree della memoria. In questo modo si fissa nel ricordo l'esperienza piacevole che la dopamina ha segnalato. Noi memorizziamo meglio tutto ciò che ci emoziona. Basti pensare al film della nostra vita, fatto di avvenimenti, persone, cose che sono rimaste incise nella memoria a lungo termine per la forza che hanno avuto di emozionarci.

Negli animali questo meccanismo è sufficiente per spingere a ripetere l'esperienza che ha procurato piacere. In noi uomini, che non possiamo lasciare i comportamenti solamente all'istinto, al cervello primordiale, in questo gioco tra piacere e desiderio, tra dopamina e sistema limbico, interviene prepotentemente anche la *corteccia prefrontale*, sede del raziocinio, del controllo dei comportamenti e dei processi decisionali; il direttore d'orchestra del nostro cervello, quello che caratterizza l'essere umano rispetto agli altri animali. La corteccia prefrontale è coinvolta in tutte le operazioni associate all'intelligenza ed è la sede dell'elaborazione della maggior parte del pensiero razionale. Il grande neuropsicologo russo Luria, la definiva «l'organo della civilizzazione», deputata a controllare le funzioni delle strutture soggiacenti, più antiche, per far sì che la ragione vinca sull'irragionevolezza.

Con il coinvolgimento della corteccia prefrontale, oltre che fissare nella memoria il ricordo dell'esperienza piacevole, dell'emozione provata, si dà della stessa una rappresentazione cognitiva che, se positiva, spinge la nostra mente (e non solo il nostro istinto!) a ripetere quell'esperienza.

In questo modo si ripete il gioco che ha caratterizzato l'evoluzione

della specie umana, un gioco fondamentale tra cervello antico (o cervello emotivo) e cervello recente (o cervello razionale): senza la pressione del sistema limbico e dell'emotività, senza la passione insomma, la parte nobile del cervello non avrebbe quelle spinte ad agire, a inventare, non avrebbe in sostanza la creatività che ha permesso all'uomo di realizzare tutte le opere che conosciamo. «Tu chiamale, se vuoi, emozioni!», fa cantare Mogol a Battisti, scrivendo in una frase il senso della vita di ognuno di noi. Con la corteccia cerebrale, insomma, si pensa, si ricorda, si parla; ma sono le aree più antiche, quelle delle emozioni, che ci danno il batticuore e rendono viva la nostra esistenza.

E in questo sta un'altra grande differenza tra l'uomo e il computer: nessun computer è in grado di provare emozioni, nessuno scienziato, finora, è stato in grado di dotare un computer di un'amigdala.

Perché questo complesso dialogo tra dopamina, sistema limbico e corteccia prefrontale si metta in moto, è necessario che l'esperienza vissuta sia fortemente coinvolgente dal punto di vista emotivo. La stessa assunzione di cibo, un evento naturalmente piacevole, produce un aumento di rilascio di dopamina solo se è sorprendente. Così come il resto del cervello, anche il sistema dopaminergico è raffinato e pretenzioso. In un certo senso deve essere stupito perché le sinapsi dopaminergiche e il nucleo accumbens si attivino in maniera consistente e acquisiscano la capacità di attrarre l'attenzione su quell'evento. Solo in queste situazioni l'improvviso innalzamento dei livelli di dopamina nel sistema del desiderio induce il cervello (e quindi anche la mente) a valutare la situazione come positiva e quindi a programmarla verso la ripetizione.

Questo complesso meccanismo cerebrale del piacere e della ricompensa viene utilizzato anche dalle droghe, le amfetamine, la cocaina, l'alcol, la cannabis eccetera. Sfortunatamente le droghe, nell'attivare questo circuito, hanno il drammatico vantaggio di avere una forza e una persistenza molto più forte degli stimoli naturali, perché generano un segnale in grado di provocare grandi e immediati rilasci di dopamina che sono causa di una forte attivazione del circuito limbico e di una riduzione del controllo inibitorio corticale; in pratica la corteccia prefrontale invece di proteggerci va in tilt, e questo attiva lo «sballo».

Ma perché nel cervello esistono questi meccanismi che portano allo

sballo? Ovviamente la natura non li ha concepiti in funzione delle droghe. O meglio, sono stati organizzati per una droga molto speciale, una droga naturale che si chiama *passione*. Tutto quello che abbiamo visto succedere quando assumiamo una droga, avviene naturalmente quando ci innamoriamo, quando guardiamo un cielo stellato o un bel panorama, quando abbiamo un buon voto a scuola, quando ci impegniamo in una competizione sportiva, quando ridiamo con un amico, quando ci emozioniamo davanti al volto di una persona cara.

Ma vi è una differenza fondamentale tra lo sballo naturale e quello indotto dalle droghe: la differenza è che la passione non danneggia i nostri recettori, mentre, a lungo andare, le droghe e l'alcol interferiscono con l'azione dei neurotrasmettitori, con l'effetto di alterare le funzioni cerebrali più importanti. Non permettendo alle nostre cellule di funzionare correttamente, alterano la sfera emozionale, compromettono la memoria e influenzano i comportamenti.

Una serie di studi, effettuati esaminando con la RM il cervello di persone che facevano uso di sostanze, ha dimostrato che droghe come la cocaina e l'ecstasy riducono l'intero metabolismo cerebrale e uccidono le cellule soprattutto nella corteccia prefrontale, nell'ippocampo, e nell'amigdala, nelle aree, cioè, dalle quali in massima parte dipende la qualità della nostra vita. Questo spiega il comportamento anomalo delle persone che ne fanno uso: si modifica la capacità di adeguare i comportamenti al mondo esterno e di strutturare la propria personalità. In molti casi si può parlare di vera e propria modificazione della personalità.

È stato grazie a tutti questi meccanismi mentali di cui vi ho parlato, assieme alla capacità che i neuroni specchio ci danno di percepire e comprendere le emozioni altrui e di entrare in empatia con l'altro, che l'uomo è stato in grado di costruirsi un proprio modello di vita; è stata l'evoluzione del nostro cervello ad aver determinato la capacità di esprimere al massimo quella che è la proprietà più formidabile dell'essere umano, la *coscienza*.

# 6
# Colline e vallate, così uguali ma così diverse

*Vi sono più cose in cielo e in terra di quante non ne sogni la tua filosofia.*

William Shakespeare, *Amleto*

Le colline e gli avvallamenti del cervello hanno una forma in linea di massima simile in tutti gli individui. Ma se facciamo attenzione ai particolari, come possiamo vederli con una risonanza magnetica, ci accorgiamo che l'anatomia del cervello è fortemente individuale, risultato unico di ciò che ognuno è stato nel corso della vita e di cosa è adesso. Tutto quanto è stato vissuto e sperimentato ha inciso sul suo sviluppo, dalla struttura molecolare all'architettura dei neuroni, allo spessore delle circonvoluzioni, per renderci ciò che siamo e per farci diventare ciò che saremo.

L'osservazione grossolana dell'encefalo permette di riconoscerne le diverse componenti.

Anche se tendiamo a usare il termine *cervello* per indicare il tutto – ma sarebbe più corretto dire *encefalo* – in realtà una prima distinzione da fare è tra cervello, cervelletto e tronco dell'encefalo; il primo è localizzato nella parte superiore e anteriore dell'encefalo, il secondo nella parte inferiore e posteriore, il terzo al di sotto del cervelletto, in posizione mediana, in continuità con il midollo spinale.

Il cervello è considerato la parte più importante per l'intelligenza umana, ed è anche la più grande, occupando circa l'85 per cento del volume totale del cranio. Somiglia a una noce composta da due metà che sono l'una l'immagine speculare dell'altra; aprendo nel mezzo i due emisferi si evidenzia il corpo calloso, la struttura arcuata e bianca che li unisce.

A differenza degli altri organi simmetrici, come il polmone o il rene, in cui entrambe le metà svolgono la medesima funzione, nel cervello i due emisferi hanno funzioni diverse.

L'emisfero sinistro, solitamente dominante, è il cervello della logica, del raziocinio e del calcolo, la parte analitica che caratterizza gli uomini di scienza, la zona cartesiana che scompone la realtà e che consente di applicare la più rigida razionalità; è il cervello sapiente attraverso cui passa qualunque conoscenza del mondo. L'emisfero destro invece sovrintende alla fantasticheria e alla sensibilità, è il cervello dell'intuizione, dell'immaginazione, della fantasia e del sogno, è il cervello più artistico.

Nel dialogo tra i due emisferi è il sinistro a permetterci di parlare e di calcolare, ed esercita una sorta di prevalenza sull'emisfero destro; per questo lo definiamo dominante. Solitamente, ciò avviene nei destrimani, che sono la maggioranza delle persone. La situazione si ribalta nei mancini, in cui a essere dominante è l'emisfero destro. L'emisfero sinistro è sede delle funzioni del linguaggio, contiene cioè quei centri che ci permettono di capire cosa ci viene detto e cosa leggiamo, e che ci permettono di esprimerci con la parola o con la scrittura. Nelle persone mancine, in cui l'emisfero dominante è il destro, i centri del linguaggio sono a destra.

I due emisferi sono in costante comunicazione tra loro. Ciascuno di essi non solo informa l'altro delle proprie attività, ma lo corregge, talvolta ponendogli dei limiti ed equilibrandone le eccentricità, lasciando alla fine che sia l'emisfero dominante a prendere le decisioni. L'insieme

dei due emisferi, collegati da centinaia di milioni di fibre che riunite nel cosiddetto *corpo calloso* trasferiscono in pochi millisecondi l'informazione da un emisfero all'altro, assicura il corretto funzionamento cerebrale. Se questa connessione è eliminata, il cervello destro si ritrova libero dalla dominanza del sinistro: può avere una volontà propria, in contrasto con i desideri del sinistro. È quello che si vede nei pazienti in cui, per curare gravi forme di epilessia, si seziona il corpo calloso: i due cervelli mostrano intenzioni del tutto diverse tra loro. È famoso il caso di un paziente il quale, in procinto di abbracciare la moglie, con un braccio la cingeva e con l'altro le sferrava un pugno in faccia. Si pensa che esista un'area nella corteccia prefrontale il cui scopo sia quello di unificare le volontà dei due emisferi, dando la prevalenza alla volontà dell'emisfero dominante.

Le moderne tecniche di *neuroimaging* (in particolare la risonanza magnetica e la risonanza magnetica funzionale) ci permettono di analizzare l'intero cervello e di individuare molte aree collegate a specifiche funzioni; possiamo per esempio vedere quali aree si accendono quando muoviamo una mano o un piede, oppure quando parliamo o ascoltiamo, o quando siamo sottoposti a stimoli visivi.

Da qualche tempo, utilizzando la RM con un programma molto sofisticato detto *trattografia* o, più scientificamente, DTI (*diffusion tensor imaging*), possiamo mappare in vivo le connessioni tra le diverse aree cerebrali e cominciare a capire in che modo regioni diverse dialogano fra loro. Oggi si sta cercando di definire la mappa di tutti i circa 600 trilioni di connessioni cerebrali, chiamata *connettoma*; è una mappa in continuo cambiamento poiché le connessioni si modificano, crescono o muoiono. Ci vorranno decenni prima che il progetto sia completato. La speranza è che, mappando il *connettoma* umano e individuando il modo in cui esso differisce da soggetto a soggetto, si possano svelare conoscenze fondamentali sui pensieri, sulla natura dei disturbi psichici, sulla nostra identità in quanto creature dotate di una mente.

Per noi neurochirurghi che dobbiamo muoverci dentro il cervello umano, tutte queste scoperte sono molto utili perché ci permettono di conoscere la strada sicura da seguire durante i nostri interventi, quella che ci permette di risparmiare fibre o cellule la cui lesione potrebbe

avere gravi conseguenze. Allo stesso tempo, ci fanno riflettere su quali e quanti equilibri complessi si possono modificare ogni volta che si lavora sull'encefalo e di come si possa interferire con un mondo misterioso e intrigante, quello della memoria, della coscienza e degli affetti.

Ma vediamo adesso, rapidamente, quali sono e che funzioni hanno le diverse componenti dell'encefalo.

Cominciamo dagli emisferi cerebrali. Sulla base di una distinzione macroscopica, alla quale corrisponde una differenziazione di funzioni, possiamo dividere ogni emisfero in quattro lobi, *frontale, parietale, temporale e occipitale*, divisi l'uno dall'altro da profondi avvallamenti, i *solchi cerebrali*.

Tre lobi, il parietale, il temporale e l'occipitale, sono dedicati all'elaborazione dei segnali sensoriali che ci giungono dal mondo esterno. Il quarto, il lobo frontale, possiamo dividerlo in due aree: la posteriore, in cui ha sede il controllo motorio, e l'anteriore, detta *area prefrontale,* che è sede delle funzioni cognitive di livello superiore.

### *Lobo frontale*

La parte più nobile di questo lobo è la corteccia prefrontale, che è la parte più anteriore, deputata alla pianificazione complessa e ai processi decisionali, al pensiero astratto, al giudizio morale e al rispetto delle norme etiche, al controllo degli impulsi, alla memoria e alle interazioni sociali. È coinvolta in tutte le operazioni associate all'intelligenza ed è la sede dell'elaborazione della maggior parte del pensiero razionale; è essenziale per un buon funzionamento mentale. Non a caso, questa è la parte del cervello che, nell'essere umano, nel corso dell'evoluzione, si è sviluppata di più rispetto agli altri animali e occupa quasi un terzo di tutta la nostra corteccia cerebrale.

Come un organizzatore generale è al lavoro in ogni nostro istante di veglia, controlla tutti i messaggi che provengono dalle differenti parti del cervello e lavora per un giusto bilanciamento tra l'azione delle aree emozionali e quella delle aree più razionali, in modo che le decisioni che vengono prese risultino equilibrate. In quest'area sono localizzati quei

nuclei che si attivano per tenere a mente i fatti, non troppo, ma abbastanza a lungo da occuparcene, costituendo la *memoria di lavoro* o memoria a breve termine.

La corteccia prefrontale è collegata a particolari gruppi di cellule nervose del talamo e a tutti i circuiti sensoriali (tatto, gusto, olfatto, vista e udito).

Nella parte posteriore dei lobi frontali, dietro l'area prefrontale, hanno sede la corteccia premotoria e quella motoria, aree che pianificano il movimento e inviano i comandi motori alla metà controlaterale del corpo (è interessante che anche le aree della sensibilità e della visione abbiano un controllo incrociato della metà controlaterale del corpo).

Nella parte laterale e inferiore del lobo frontale dell'emisfero dominante è situata l'area di Broca, un insieme di neuroni responsabili della produzione del linguaggio, quelli che, in pratica, ci permettono di parlare. Quest'area contiene programmi motori che inviano segnali ai vari muscoli della lingua, delle labbra, del palato e della laringe affinché gestiscano la parte espressiva del linguaggio.

Assieme alla corteccia premotoria, l'*area di Broca* è ricca di neuroni specchio coinvolti nell'interfaccia tra pronuncia e ascolto di suoni, e nell'osservazione ed emulazione dei movimenti labiali.

*Lobo parietale*

Si trova immediatamente dietro il lobo frontale. È preposto soprattutto a elaborare le informazioni sensoriali che giungono dal tatto, dai muscoli e dalle articolazioni del lato opposto del corpo e a combinarle con quelle della vista, dell'udito e dell'equilibrio per darci una piena percezione di noi stessi e del mondo che ci circonda. Il lobo parietale destro è parte del circuito cerebrale interessato al senso artistico.

*Lobo occipitale*

I lobi occipitali, localizzati nella parte posteriore del cervello, presiedono all'elaborazione delle informazioni visive trasmesse dalla retina.

Vedere è un'operazione tutt'altro che facile e coinvolge un'ampia rete di regioni cerebrali. Vi sono almeno trenta centri, oltre alla corteccia visiva primaria, che svolgono il compito di analizzare informazioni su forma, colore, movimento e profondità di ciò che guardiamo. Le informazioni provenienti da tutte queste aree vengono convogliate alle regioni cognitive del cervello per essere elaborate e dare origine a un'unica percezione.

*Lobo temporale*

I lobi temporali sono importanti per l'interpretazione di alcune informazioni visive, come il riconoscimento dei volti, e di quelle relative all'udito.

Nel lobo temporale dell'emisfero dominante, solitamente il sinistro, la parte superiore e posteriore contiene l'*area corticale di Wernicke*, il cui compito è importante per la comprensione del linguaggio e l'elaborazione di frasi scritte o parlate dotate di senso compiuto. L'area di Wernicke è strettamente collegata all'area frontale di Broca attraverso un fascio di fibre chiamato *fascicolo arcuato.* Senza l'area di Wernicke a fornire loro un significato, le parole sarebbero puro vaniloquio e l'area di Broca, quella dell'espressione verbale, non potrebbe funzionare correttamente.

Linguaggio e visione, come succede per tante funzioni cerebrali, sono fortemente interconnessi, come mostra il caso di un paziente da me operato per un tumore cerebrale.

Ho davanti a me un paziente sui cinquant'anni, simpatico, intelligente. Mi racconta la sua storia di malessere, disturbi visivi e confusione iniziata da pochi giorni. Con viso preoccupato mi porge il CD degli esami fatti. La risonanza magnetica, impietosamente, mostra la presenza di una voluminosa massa tumorale che dalla corteccia occipitale di sinistra, cioè l'area deputata a elaborare la visione di destra, si estende fino al limite con la corteccia temporale e l'area di Wernicke.

Visito il paziente e, muovendo le dita delle mie mani a destra e a sinistra dei suoi occhi, in modo da disegnare lo spazio circostante alla

sua testa, esamino il suo campo visivo e rilevo che non riesce a vedere nulla di tutto ciò che esiste nel suo campo di destra. In sostanza, il lobo occipitale di sinistra non è più in grado di elaborare i segnali che gli giungono dalla porzione di retina che guarda a destra.

Oltre a non vedere una parte di mondo, il paziente evidenzia anche una strana difficoltà a comprendere quello che legge, pur vedendolo molto bene.

«Come vede?» «Benissimo, ma non riesco a capire cosa sto leggendo!» «Ma è in grado di scrivere?» «Certo, le faccio vedere…» Il paziente scrive una lunga frase. «Ha capito cosa ha scritto?» «Perfettamente!» e ripete correttamente il senso della frase. «Adesso rilegga quello che ha scritto». Il paziente rimane incerto, immobile, quasi stupito. Poi mi guarda: «Ma l'ho scritto io e mentre lo scrivevo capivo; adesso non sono capace di leggerlo. Com'è possibile?».

Questa breve storia mostra come ogni area del cervello, anche se ha una sua funzione specifica, è sempre in rapporto con le altre aree vicine e fa capire quanto embricate siano fra loro le diverse funzioni, in particolare quanto complessi siano quei meccanismi che chiamiamo linguaggio e visione. Ciò che ci sembra semplice è sempre la combinazione inconscia di numerose funzioni intrecciate fra loro, come scrivere, leggere, capire quello che si legge.

Dopo pochi giorni il paziente venne operato e fu rimossa la grossa massa dal suo lobo occipitale di sinistra. Il tumore risultò essere un glioblastoma, il peggiore dei tumori cerebrali che, anche se rimosso completamente, tende inesorabilmente a ricrescere.

Per molti mesi i controlli di risonanza magnetica furono soddisfacenti e ci illusero che potesse trattarsi di uno di quei rari casi a lunga sopravvivenza. Purtroppo, dopo poco, il tumore ricomparve, questa volta in un'altra regione del cervello, sempre bruttissimo, se possibile ancora più maligno.

Quell'uomo allegro era diventato sospettoso, non aveva più fiducia in nessuno. Lo convincemmo a operarsi di nuovo, ma questa volta la ricrescita fu più rapida con un coinvolgimento più complesso delle funzioni cerebrali.

*Cervelletto*

Grande come un pugno, è attaccato alla parte posteriore del cervello ed è caratterizzato da un'altissima densità cellulare. Pur rappresentando il 10 per cento del volume dell'encefalo contiene molti più neuroni della corteccia, più di 60 miliardi contro circa 30 miliardi.

Come il cervello, anche il cervelletto è diviso in due emisferi uniti da una struttura centrale chiamata *verme cerebellare*; a differenza del cervello, però, i due emisferi cerebellari svolgono la stessa funzione.

Il cervelletto ha l'importante funzione del controllo e della coordinazione dei movimenti, della postura e dell'equilibrio; è essenziale per l'esecuzione dei movimenti delicati. Serve anche per l'apprendimento motorio e nel cervelletto ha sede la *memoria procedurale*, quella che permette l'esecuzione automatica di movimenti sofisticati e complessi, come l'esecuzione di una demi-volée di rovescio su un campo da tennis o di una fuga di Bach sulla tastiera di un pianoforte.

Una sua lesione provoca difficoltà di deambulazione e una goffaggine generalizzata nei movimenti, ma lascia intatte la maggior parte delle abilità mentali.

Per noi neurochirurghi il cervelletto è una zona minata. Ogni volta che dobbiamo eliminare una lesione in questa parte dell'encefalo, un tumore, un'emorragia o una malformazione vascolare, sappiamo che il paziente rischia di non potersi muovere bene, di perdere la capacità di coordinare correttamente i propri gesti, di non riuscire più a eseguire movimenti fini, di avere disturbi nella rapidità dello sguardo. Questi disturbi, così come avviene per altre funzioni cerebrali, in alcune professioni possono diventare particolarmente rilevanti. Immaginate una ballerina che non riesca più a stare sulle punte o a eseguire dei passi ben coordinati; o uno sportivo che non riesca più a reagire prontamente o a correre correttamente. Ma qualche volta, per salvare la vita di un paziente, siamo obbligati a entrare dentro la complessità dei suoi tessuti.

Un giorno mi portarono le immagini di un famoso calciatore di un'importante squadra di serie A. Sui giornali avevo letto che aveva avuto dei problemi: improvvisamente, un gran mal di testa, seguito da disturbi dell'equilibrio e perdita della normale fluidità dei movimenti. Gli esami mostravano nella profondità del cervelletto, in sede quasi mediana, una piccola malformazione vascolare, un *cavernoma*, che si era

rotto provocando un’emorragia in quest’organo delicato e complesso. Mentre guardavo quelle immagini mi venivano alla mente tutti i problemi da affrontare; quelli tecnici di una chirurgia delicata che doveva raggiungere la malformazione attraversando un tessuto particolarmente fragile, con il rischio di distruggere molte fibre e molte cellule, e quelli umani, del paziente, che avrebbe, forse, dovuto rinunciare alla sua professione, alla ragione della sua vita.

Dopo pochi giorni incontrai L., un ragazzone straordinario, serio, con una giusta considerazione dei valori, della famiglia, del lavoro. Veniva dal Brasile e nel calcio aveva trovato la sua realizzazione. Parlammo a lungo, gli spiegai che, se non avesse fatto l’intervento, non avrebbe mai più giocato perché anche un minimo trauma avrebbe potuto provocare un’emorragia molto più grave. L’intervento aveva la possibilità di eliminare il problema, ma la chirurgia avrebbe potuto compromettere la sua possibilità di muoversi in modo coordinato, e quindi di tornare in campo. Tuttavia, anche se rischiosa, la chirurgia era comunque l’unica via che, dopo una riabilitazione, lasciava una speranza che potesse tornare su un campo di calcio. L. accettò di farsi operare.

In sala operatoria eravamo tutti molto tesi. Guardando il cervelletto attraverso il microscopio, cercavo di ricostruire nella mia testa la traiettoria da seguire per raggiungere, alla profondità di quattro centimetri, quella piccola morula circondata da sangue. Solo quattro centimetri, dalla superficie che stavo guardando, ma per attraversare quei quattro centimetri quante fibre e quante cellule si sarebbero potute danneggiare? Inoltre, raggiungere il piccolo angioma era un po’ come cercare un ago in un pagliaio.

Misi in funzione il neuro-navigatore, uno strumento che, come quello di un’auto nel traffico, indica la direzione da seguire per raggiungere la destinazione prescelta, e cominciai a fare una piccola breccia sulla superficie del cervelletto. Poi, con strumenti delicatissimi, cominciai a scendere in profondità. Il microscopio mi mostrava i fitti strati di sostanza bianchissima, un insieme di fibre e cellule, attraverso cui mi stavo facendo strada; era come addentrarsi in una foresta tutta bianca, sempre uguale, senza un punto di riferimento certo. Mi sembrava di non arrivare mai e avevo l’impressione che stessi procurando enormi danni alle fibre, ai nuclei cerebellari, alla memoria procedurale, con la paura di compromettere per sempre funzioni essenziali. Vedevo con angoscia L.

caracollare per un campo di calcio completamente privo di equilibrio. Pensavo con terrore che, se il navigatore si fosse sbagliato, indicandoci una direzione appena un po' più laterale o mediale o anteriore o posteriore rispetto alla traiettoria corretta, alla profondità di quattro centimetri quella traiettoria ci avrebbe portati abbastanza lontani dal bersaglio e ciò avrebbe richiesto una nuova traiettoria e altri danni ad altre fibre e ad altre cellule.

Mentre i pensieri più foschi si addensavano nella mia mente, a un tratto, le bianche fibre del cervelletto cominciarono a mostrare un colorito appena un po' più sporco e poi, con un sospiro di sollievo, sempre più giallo. Era il colore lasciato dall'emorragia, dall'emoglobina che spandendosi aveva «macchiato» le candide fibre dei neuroni cerebellari. E finalmente, in mezzo al giallo, comparve il colore nero della piccola morula che costituiva il cavernoma. Avevamo raggiunto il nostro bersaglio, vedevamo la malformazione vascolare che si era rotta. Adesso bisognava circondarla, chiudendo tutti i vasi che la collegavano al cervelletto, e rimuoverla. Al microscopio adesso tutto sembrava più chiaro: si vedeva il sangue che era fuoriuscito e che aveva provocato i disturbi, si individuavano progressivamente tutti i vasi che uscivano dalla piccola sacca e che progressivamente furono coagulati e sezionati, fino a che il cavernoma non fu completamente isolato e fu possibile tirarlo fuori lungo il piccolo canale che avevamo scavato per raggiungerlo. A quel punto l'intervento era finito. Bisognava soltanto assicurarsi che nel campo chirurgico l'emostasi fosse perfetta, che non fossero rimasti vasellini sanguinanti; poi si poteva chiudere.

Nel frattempo si era fatta sera. Il paziente fu portato in terapia intensiva con le indicazioni di tenerlo sedato durante la notte per svegliarlo al mattino.

In casi come questo per il chirurgo la notte non passa mai. Non si riesce a dormire e nella mente passano tutte le immagini dell'intervento. Ci si chiede se si è fatto tutto come si doveva; ma soprattutto ci si domanda se il paziente si sveglierà bene o se presenterà deficit importanti.

La mattina dopo, prestissimo, con i miei collaboratori ero al letto del paziente. L. era sveglio, stava bene ed era felice. Le prove neurologiche mostravano uno sfumato impaccio nella coordinazione degli arti, mentre gli occhi si muovevano con piccolissimi scatti. Dopo pochi giorni si vide

che lentamente i fastidi si stavano attenuando.

Dopo qualche mese di riabilitazione L. poté riprendere a giocare e progressivamente tornare ai suoi ritmi da campione, come se nulla fosse successo.

*Tronco dell'encefalo*

Il tronco dell'encefalo, il *brain stem*, è situato in posizione centrale, nella parte posteriore dell'encefalo, davanti al cervelletto. Simile a un fusto, costituisce il prolungamento, verso l'alto, del midollo spinale. Consta di tre parti, che dall'alto al basso chiamiamo *mesencefalo*, *ponte* e *bulbo*. Unisce il cervello al resto del corpo e controlla molte funzioni fondamentali per la nostra vita: la respirazione, la deglutizione, la regolazione della pressione del sangue. È attraversato da vie neurali che dal cervello vanno al midollo spinale e viceversa; in pratica, dal tronco passano tutti i segnali che il cervello manda al corpo e che dalla periferia, attraverso il midollo spinale, ritornano alla corteccia. Nel brain stem sono i nuclei di molti nervi cranici, come il nervo facciale, il nervo uditivo, i nervi che servono per muovere gli occhi, quelli della deglutizione, il trigemino che ci dà la sensibilità del viso.

Tra le tante funzioni, il brain stem svolge un compito essenziale per la nostra vita, risvegliare il resto del cervello alla coscienza. Grazie a lui, il nostro livello di veglia va su e giù continuamente, in modo più evidente nel ciclo veglia-sonno. Alcuni gruppi di neuroni del brain stem, chiamati *sistema reticolare attivante*, mandano i loro prolungamenti ampiamente nel cervello e liberano speciali neurotrasmettitori, noti come *neuromodulatori*, che risvegliano il talamo e la corteccia cerebrale; la loro attivazione è fondamentale perché possa esserci coscienza, anche se il resto del cervello è intatto. Certamente non si ritiene che il brain stem sia in grado di pensare o di apprendere, ma contiene alcuni centri essenziali per la sopravvivenza. Una piccola lesione del tronco può uccidere o lasciare in coma per sempre.

Il tronco dell'encefalo, ancora più del cervelletto, è una zona ad altissimo rischio chirurgico. Un intervento in questa sede viene

effettuato solo quando il decorso della malattia, se non si interviene, può essere mortale. Entrare nel brain stem significa rischiare di danneggiare fibre che dalla corteccia motoria vanno al midollo e determinare un quadro clinico di paralisi motoria, oppure danneggiare nuclei di nervi cranici, come per esempio il nervo facciale, o quelli che servono per muovere gli occhi, oppure quelli dei nervi della deglutizione, fino ai disturbi più gravi che possono portare al coma.

Una mattina venne da me in studio una giovane donna, M., la quale mi raccontò di avere avuto uno strano e inusuale mal di testa, associato a un vago malessere. Portava con sé un esame di risonanza magnetica che evidenziava un angioma del tronco dell’encefalo, con una piccola emorragia. Il senso di malessere era stato provocato dalla rottura della malformazione e dal sanguinamento. Per fortuna le conseguenze neurologiche dell’emorragia erano state lievi.

Quella descritta è una di quelle situazioni, non rare, in cui il chirurgo si trova in grosse difficoltà perché deve scegliere fra due opzioni contrarie ma entrambe accettabili. Da un lato c’è l’asportazione chirurgica, ma la chirurgia può essere causa di deficit neurologici che potrebbero peggiorare il quadro clinico del paziente; oppure si può decidere di non operare, ma se si verifica una nuova emorragia il danno causato potrebbe essere molto grave. Vista l’estrema delicatezza della sede chirurgica, l’emorragia limitata e il quadro neurologico non grave, assieme alla paziente si decise di avere un atteggiamento prudente e di osservare l’evoluzione clinica.

Dopo neanche due settimane M. ritornò allarmata; affermava di essere stata nuovamente male, ma questa volta anche con uno sdoppiamento della vista. In effetti, presentava uno strabismo unito a disturbi dell’andatura che la volta precedente non erano presenti. Facemmo subito una nuova RM e questa dimostrò il peggioramento del quadro radiologico: si era verificato un secondo sanguinamento, più grave del primo. Non era più possibile aspettare; un’ulteriore emorragia avrebbe potuto essere fatale.

Per gli angiomi del tronco, situati in una sede profonda e centrale dell’encefalo, l’approccio chirurgico non è dei più semplici. Il brain stem lo si può raggiungere dall’alto, passando tra i due emisferi cerebrali e attraversando il corpo calloso, o da dietro, andando sopra il cervelletto, o di lato, scivolando sotto il lobo temporale. Qualunque via avessimo

scelto, avremmo dovuto lavorare nella profondità di un tunnel e passare tra strutture molto delicate, ma dalla giusta scelta dell'approccio sarebbe dipesa la riuscita dell'intervento.

Studiando il caso di M., continuava a venirmi in mente un altro intervento, fatto poche settimane prima per rimuovere un tumore della porzione più profonda del lobo temporale. Dopo aver rimosso la massa, mi ero reso conto di trovarmi a ridosso del *tentorio*, una spessa membrana che separa la parte interna del lobo temporale dal tronco dell'encefalo e dal cervelletto. Avevo aperto il tentorio, per assicurarmi che il tumore non lo avesse infiltrato, e mi ero trovato direttamente sulla parete laterale del brain stem, cioè esattamente nella zona che adesso dovevo raggiungere per rimuovere l'angioma. Mi stavo convincendo che quella via che passava sotto il lobo temporale mi avrebbe permesso di raggiungere il tronco dell'encefalo con rischi relativamente ridotti.

Decisi subito che quella sarebbe stata la strada che avrei seguito e ne spiegai i vantaggi e i rischi alla paziente. Si sarebbe trattato di scivolare delicatamente sotto il lobo temporale e, senza danneggiarlo, raggiungere, alla profondità di circa dieci centimetri, il tentorio, la spessa membrana su cui poggia la sua parte più profonda, evitando di danneggiare le tante vene che in quella sede drenano il sangue refluo dal cervello. A quel punto, l'incisione del tentorio avrebbe scoperto la parete laterale del brain stem sul quale avremmo ricercato il segnale giallo indicativo della presenza dell'emorragia e della malformazione da asportare.

Dopo qualche giorno la paziente fu portata in sala operatoria, addormentata e adagiata sul suo fianco sinistro, in modo da avere in alto il lobo temporale di destra. Effettuata una piccola apertura cranica e incisa la dura madre, cioè la meninge che avvolge il cervello, ci trovammo sul lobo temporale. A quel punto fu posizionato il microscopio operatorio e la nostra navigazione ebbe inizio.

Guardare il cervello col microscopio è affascinante. Il lobo temporale era davanti a noi con le sue circonvoluzioni e i suoi solchi, con i suoi vasi arteriosi pulsanti e le sue vene blu: tutto ciò che vedevamo era importante e nulla doveva essere danneggiato. Appoggiammo una piccola spatola sul cervello in modo da spostarlo delicatamente e far uscire un po' di liquor cerebrospinale; questo ci avrebbe permesso di avere spazio e poter avanzare in profondità, lungo la base cranica, evitando di traumatizzare il cervello. Un ostacolo nel

nostro percorso verso il tronco era rappresentato dalle vene profonde del lobo temporale; sapevamo che non bisognava danneggiarle perché le conseguenze potevano essere gravi: un danno del lobo temporale e possibili crisi epilettiche. Dopo avere isolato e protetto le vene, raggiungemmo la membrana del tentorio. Per inciderla utilizzammo un microbisturi, ma vi era il rischio che dietro la spessa membrana potessero esservi nervi cranici o importanti arterie, e in entrambi i casi le conseguenze di una loro lesione sarebbero state gravissime. Proseguimmo con delicatezza finché, inciso il tentorio, ci si presentò davanti finalmente il brain stem con le membrane di aracnoide che lo avvolgono. Sulla sua superficie si vedevano arterie, vene e un piccolo importante nervo deputato a permettere alcuni movimenti dell'occhio; nessuna di queste strutture poteva essere danneggiata. Esplorando con il microscopio e ingrandendo tra un'arteria e il nervo, rilevammo sulla superficie del tronco una piccola macchia gialla; era il segno che cercavamo per avere la certezza di trovarci in prossimità dell'emorragia e dell'angioma. Lavorando in profondità, sotto il lobo temporale e tra le vene, dissecammo il nervo e l'arteria in modo da poterli spostare quel tanto che ci permettesse di ottenere uno spazio di lavoro più ampio. A questo punto effettuammo una minima incisione sulla superficie del tronco e immediatamente vedemmo del sangue nerastro e, dietro questo, la superficie nera della capsula dell'angioma. Un po' alla volta l'angioma fu dissecato dalle importantissime fibre e tutti i vasi che lo circondavano furono coagulati e sezionati. A quel punto il nodulo fu completamente isolato e poté essere rimosso. Coagulati piccoli punti sanguinanti e fatto a ritroso il percorso utilizzato per l'approccio, l'intervento fu concluso.

La paziente si svegliò benissimo ma il controllo neurologico evidenziò un peggioramento dei disturbi della deambulazione. La sua preoccupazione era per i figli: cosa avrebbero pensato vedendola camminare così male? Dopo pochi giorni stava già meglio e dopo un paio di mesi di riabilitazione l'andatura era tornata del tutto normale.

Una struttura encefalica di straordinaria rilevanza è il *talamo*. Localizzato al centro di ciascun emisfero, sopra il tronco cerebrale, simile a una noce un po' allungata, raccoglie tutti i messaggi sensoriali che arrivano al cervello, a eccezione di quelli olfattivi, e li invia alle

diverse aree corticali dove vengono depositati in reti neurali. Dall'attività combinata del talamo e della corteccia cerebrale scaturisce la percezione di tutto ciò che costituisce la nostra vita, dal sorriso di un bambino, alla bellezza di un'alba, alla serenità di una serata in campagna. Il talamo è talmente importante che una sua lesione può essere responsabile di uno stato di coma.

Oltre alle strutture di cui ho parlato, nell'encefalo vi sono molte altre aree e nuclei di cui tenere conto, molti di straordinaria importanza, ognuno corrispondente a una struttura cerebrale, come, per esempio, l'*insula*, la *fimbria*, il *fornice*, il *locus coeruleus*, il *precuneo*, la s*ubstantia innominata*, la *substantia nigra*, i *gangli della base*, il *claustrum*, il *nucleo caudato* eccetera. Potrei andare avanti ancora tanto, ma in questo libro voglio parlare solo di alcune funzioni cerebrali e, di conseguenza, solo di quelle aree che sono più rilevanti per le funzioni che voglio raccontare a un lettore curioso.

# 7
# I cassetti della mente

*L'esistenza dell'universo è un fatto misterioso che suscita uno stupore abissale.*

Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus*

La descrizione delle funzioni cerebrali mi riporta alla mente la mia esperienza di neurochirurgo. Sono state, infatti, le osservazioni fatte sui pazienti operati al cervello che mi hanno portato a riflettere costantemente sulla complessità delle funzioni di questo organo. Un caso in particolare mi ha permesso di studiare la funzione di un piccolo ma importante fascio di fibre, denominato, per la sua configurazione, *fascicolo arcuato*.

Era una bella giornata di fine aprile, apparentemente tranquilla. Andavo con mia moglie Carla a Firenze per due giorni di lavoro e riposo quando mi chiamarono dal Gemelli, l'ospedale dove ho lavorato per tanti anni, per dirmi che un mio vecchio amico, già da me operato anni prima per un problema alla colonna, si era sentito male e probabilmente sarebbe stato portato da noi. Era successo tutto nelle prime ore del

pomeriggio. Inizialmente si era pensato a un malore banale; solo dopo un po', quando ci si rese conto che non riacquistava la coscienza, si era capito che la situazione poteva essere più grave di quanto sembrasse all'inizio. Finalmente era stato chiamato il 118 e L. era stato portato all'ospedale di riferimento, al centro di Roma. Lì una TAC aveva fatto vedere che la causa del malore era una grave emorragia cerebrale, coinvolgente l'emisfero di sinistra. Sarebbe stato necessario un intervento chirurgico d'urgenza per evitare che lo spandimento ematico peggiorasse e che la sofferenza del cervello si aggravasse.

Purtroppo l'ospedale in cui L. era stato portato, come primo soccorso, non era dotato di un reparto di neurochirurgia e quindi per poterlo operare bisognava trasferirlo in un altro centro, con la conseguente perdita di tempo che tutto ciò avrebbe comportato.

Questa è purtroppo una disfunzione frequente dell'organizzazione sanitaria: le ambulanze del 118 hanno l'obbligo di portare i pazienti all'ospedale più vicino, ma non è detto che questo sia anche quello più adeguato alle loro specifiche necessità. Anni prima, come membro del Consiglio Superiore di Sanità, avevo elaborato un voluminoso dossier dedicato alla gestione dei pazienti con emorragia cerebrale. In quel documento scrivevo come, per alcune patologie altamente specialistiche, fosse necessario portare i pazienti malati in ospedali riconosciuti come adatti a quello specifico trattamento, piuttosto che spostarli da un ospedale all'altro con il rischio che il tempo perduto comportasse un aggravamento del quadro clinico e riducesse le possibilità di recupero. Purtroppo, di quelle raccomandazioni non se ne era fatto nulla.

A causa di tutti i ritardi, L. giunse al Gemelli dopo circa tre ore dall'inizio del malore e ciò mi aveva dato il tempo di abbandonare i programmi di una vacanza a Firenze e tornare precipitosamente a Roma, correndo in autostrada ben oltre i limiti di velocità consentiti.

Una nuova TAC mostrò l'inevitabile allargamento dell'emorragia e il paziente fu portato rapidamente in sala operatoria. Bisognava fare presto perché la pressione provocata dall'ematoma poteva determinare una grave compressione del tronco dell'encefalo, con arresto cardiorespiratorio e morte del paziente. Incidemmo velocemente la cute e, fatta la craniotomia e aperta la guaina di meninge che contiene l'encefalo, ci trovammo davanti a un cervello che, spinto dalla pressione dell'ematoma, tendeva a protrudere pericolosamente al di fuori della

breccia.

Bisognava fare in fretta; posizionato il microscopio, effettuammo prontamente una breccia nella corteccia cerebrale corrispondente alla sede dell'ematoma e rapidamente raggiungemmo l'emorragia. Coagulo dopo coagulo, tutta quella massa nera di sangue rappreso che, come un'esplosione, aveva inondato la struttura cerebrale lacerando fibre e distruggendo neuroni, fu asportata. A quel punto la causa del malore era stata rimossa, ma non tutto era stato ancora risolto. Sapevamo che un'emorragia di quella gravità, con una compressione protratta per tante ore, avrebbe di sicuro provocato un forte edema cerebrale e ciò avrebbe potuto costituire un grosso problema nei giorni seguenti.

È quello che succede quando ci procuriamo una contusione a una mano; si vede subito una ferita, ma dopo qualche ora la mano si gonfia. Alla mano non succede nulla di grave e possiamo aspettare che il problema si risolva spontaneamente; per il cervello, che è contenuto dentro una scatola ossea rigida, un rigonfiamento determina un forte aumento di pressione su strutture che possono essere vitali. Per evitare questo pericoloso effetto, decidemmo di richiudere senza rimettere la calotta cranica; un po' come ampliare il volume del cranio, in modo da dare spazio all'aumento di volume del cervello ed evitare un pericoloso aumento di pressione dentro la testa.

Il paziente rimase in coma farmacologico fino a quando i valori si stabilizzarono e il rischio di una grave sofferenza cerebrale fu scongiurato. Seguì un lungo periodo di lento recupero in rianimazione, poi L. cominciò ad aprire gli occhi e ad avere un primo accenno di risposta agli stimoli esterni. E poi cominciò una lenta fase di riabilitazione neurologica fino allo stabilizzarsi del quadro clinico. A quel punto fu possibile fare una valutazione precisa dei danni.

La grossa emorragia dell'emisfero sinistro, pur avendo risparmiato la corteccia cerebrale, aveva provocato gravi danni soprattutto alle fibre di connessione. Le fibre corticospinali, che, partendo dalla corteccia motoria di sinistra e passando attraverso la parte più interna del cervello, si dirigono verso il midollo spinale per trasmettere i comandi motori ai muscoli del lato opposto del corpo, erano state lacerate e questo aveva provocato una grave paralisi di tutto il lato destro. Inoltre, l'emorragia aveva scompaginato il fascicolo arcuato, danneggiando le fibre che connettono le aree del linguaggio, pur lasciando integri i centri di Broca

e di Wernicke. In conseguenza di ciò, il paziente comprendeva tutto quanto gli veniva detto e capiva cosa stava leggendo sul giornale. Era anche convinto di parlare bene perché l'aria di Wernicke, quella della comprensione e dell'ideazione del linguaggio, continuava a elaborare messaggi linguistici corretti. Il problema consisteva nel fatto che l'interruzione del fascicolo arcuato, non permetteva più a Wernicke di dialogare con Broca, e pertanto tutto ciò che L. pensava di dire restava dentro la sua mente. Naturalmente, quando L. giunse in ospedale, in coma profondo e con una grossa emorragia cerebrale, non sapevamo quale sarebbe stato il suo destino dopo l'intervento. Sapevamo, però, che un'emorragia di quelle dimensioni nell'emisfero dominante avrebbe cambiato profondamente il suo quadro neurologico. In quel momento la nostra preoccupazione, assieme a quella dei familiari, era di salvargli la vita. E con l'intervento potevamo riuscirci.

Considerando a distanza il caso, come abbiamo fatto tante volte con i suoi familiari e come ho potuto constatare di persona seguendo L. nella sua vita quotidiana dopo l'intervento, anche se egli non poté più tornare al lavoro, riuscì a proprio modo a continuare a vivere, compatibilmente con lo stato del proprio cervello, cioè allo stato della sua consapevolezza della realtà, e a veder crescere la propria bambina.

Le conseguenze provocate in L. dall'emorragia cerebrale ci fanno capire tante cose. Innanzitutto quanto sia importante una corretta organizzazione del primo soccorso; nessuno può sapere se un intervento chirurgico fatto un paio d'ore prima avrebbe potuto ridurre i danni subiti dal cervello del paziente, ma nessuno può neanche escluderlo. Per il cervello si dice che «time is brain», e non credo siano necessarie tante spiegazioni.

Ci dimostrano, inoltre, quanto sia importante la comunicazione tra le aree cerebrali perché queste possano funzionare bene: in L. l'emorragia aveva risparmiato quasi del tutto i centri corticali, ma aveva distrutto miliardi di fibre di connessione non permettendo più a milioni di neuroni di molte aree di trasmettere i loro segnali e paralizzando, di fatto, le funzioni motorie e quelle del linguaggio.

Uno dei quesiti che per anni gli scienziati si sono posti è se a precise aree cerebrali sia possibile attribuire specifiche funzioni neurologiche. Noi neurochirurghi, in tanti anni, nel corso di operazioni al cervello,

utilizzando stimoli elettrici, abbiamo minuziosamente esplorato la corteccia cercando di attivarne le aree. Spesso abbiamo potuto verificare che alcune zone, se stimolate, rispondono con segnali che riproducono alcune funzioni neurologiche, come quella motoria o quella sensoriale o quella del linguaggio, oppure provocano il risvegliarsi di ricordi sopiti da tempo nella mente. Ciò non significa, tuttavia, che esista un così alto livello di specificità funzionale da poter ipotizzare che ogni facoltà mentale sia riconducibile a precisi moduli cerebrali, ognuno indipendente dagli altri, come tanti compartimenti stagni.

La teoria oggi accettata è che, seppure per molte attività cerebrali si possano individuare aree privilegiate a esse corrispondenti, la maggior parte delle funzioni cognitive siano collegate a circuiti cerebrali che coinvolgono aree diverse, anche distanti tra loro, connesse funzionalmente.

Nel cervello, a tutti i livelli, dai singoli neuroni ai circuiti più complessi, tutto emerge dall'interazione; solo in questo modo si aprono le porte preziose dell'intelletto e dell'evoluzione della conoscenza.

I recenti studi di *trattografia* confermano che le aree cerebrali sono ampiamente connesse tra loro da ampi fasci di fibre e che molte funzioni nascono dalla cooperazione tra regioni diverse che dialogano tra loro. L'importanza delle fibre di connessione fu preconizzata già all'inizio del XIX secolo da Wernicke, il quale ipotizzò che dovesse esistere un fascio di lunghi assoni, tra le regioni di Broca e di Wernicke, che stabilisse un collegamento veloce tra le due distanti aree del linguaggio. Un danno a questo fascio avrebbe provocato una rilevante difficoltà, da parte dell'area di Broca, a esprimere correttamente con il linguaggio quelle frasi che l'area di Wernicke aveva perfettamente costruito nella mente; il disordine linguistico che poteva derivarne fu chiamato *afasia di conduzione*, esattamente come il disturbo prodotto nel nostro paziente dalla voluminosa emorragia nell'emisfero cerebrale sinistro. In seguito, i neuroanatomisti confermarono l'esistenza di questo fascio tra le due aree del linguaggio e lo chiamarono *fascicolo arcuato*.

Oggi si è certi che molte funzioni mentali richiedano la cooperazione di diverse aree corticali e che molte di esse partecipino a funzioni mentali multiple. L'evidenza delle tante connessioni che la tecnologia oggi ci permette di visualizzare nel cervello fa capire come tra le tante aree vi sia uno scambio continuo di informazioni e come conoscere la

struttura e la funzione delle connessioni sia importante per capire il funzionamento della nostra mente. Per raggiungere questo risultato, nel 2010 è stato lanciato dagli Stati Uniti lo *Human Connectome Project* con lo scopo di ottenere una mappa completa di tutti i fasci di connessione esistenti nel nostro cervello.

Tornando al classico modello del linguaggio Broca-Wernicke, in realtà sembra che esso sia ancora più complesso di come pensavamo, coinvolgendo altre aree corticali e sottocorticali oltre a quelle classicamente conosciute. Come abbiamo scoperto per molte altre funzioni cerebrali, anche il linguaggio è un compito incredibilmente complesso. Si pensa che almeno sei aree debbano coordinarsi ogni volta che pronunciamo una parola o interpretiamo un testo. Queste strutture, localizzate nell'emisfero dominante, svolgono compiti molto diversi, come analizzare i suoni, capirne il significato e collegarlo ai nostri ricordi, identificare parole scritte, immagazzinare termini e poi ricercarli nel nostro magazzino delle parole per costruire frasi dotate di senso, regolare il movimento di labbra, lingua e corde vocali in modo che i suoni emessi creino parole. Anche semplicemente pronunciare una parola, come per esempio «amore», evoca un'intera serie di associazioni: la persona di cui ci siamo innamorati, il profumo dei fiori che le abbiamo regalato, l'emozione del primo incontro, la canzone del nostro primo ballo o del primo bacio, l'immagine del viso che in questo momento della nostra vita le è collegato. La parola è solo il pretesto o il nucleo attorno a cui turbina un mondo di associazioni, significati e ricordi.

Anche quando una parola la leggiamo, attiviamo aree diverse: il suo significato viene immagazzinato o mappato in un settore del cervello, l'aspetto visivo delle lettere in un altro e il loro suono in un altro ancora, e ogni settore fa parte di una rete collegata in modo tale che, quando leggiamo quella parola, possiamo vederla, udirne il suono e comprenderla allo stesso tempo, e ciò grazie ai milioni di neuroni di ogni settore coinvolto, capaci di attivarsi simultaneamente a tutti gli altri perché tutto ciò avvenga allo stesso tempo.

Anche la stessa funzione del fascicolo arcuato appare oggi meno definita di quanto pensassimo. Ma ancora oggi il modello Broca-Wernicke-fascicolo arcuato, per la sua logicità, è in grado di spiegare la funzione complessa del linguaggio e di farci capire quali conseguenze può determinare una lesione di queste aree.

# 8
# Creatività e intelligenza

*Creatività significa semplicemente collegare cose.*

Steve Jobs

Non tutto ciò che fa il nostro cervello ci è perfettamente chiaro. Per esempio, perché quando pensiamo che la nostra mente abbia bisogno di fermarsi e ci prendiamo una pausa alcune aree del cervello si attivano? Che funzione hanno?

Sono le aree del *default mode network*, che sembra svolgano un ruolo importante per le funzioni di base della mente. Di certo consumano gran parte dell'energia complessiva: solo un quarto dell'energia prodotta è spiegabile con le funzioni del cervello attivo; il restante se ne va per operazioni che non sono ancora state più precisamente individuate, ma che verosimilmente in buona parte sono collegate a questo lavorio di base, una sorta di motore che rimane acceso per far sì che il cervello continui a lavorare anche quando ozia. Il flusso sanguigno nel cervello inattivo cala solo del 5-10 per cento rispetto a quanto avviene quando il cervello è al lavoro; inoltre vi sono ampie regioni cerebrali che appaiono

funzionare di più durante l'inattività che non durante lo svolgimento di un compito.

Ad attivarsi sono funzioni predefinite, o *default*, e non quelle legate ad azioni specifiche da svolgere. L'attività di queste regioni viene soppressa mentre eseguiamo qualsiasi compito specifico, ma ritorna appena oziamo con la mente.

Al *default mode network* si attribuiscono i momenti in cui si vaga con la mente, momenti in cui, inconsciamente, mettiamo in relazione tra loro conoscenze accumulate in passato e in cui percepiamo una capacità di profonda comprensione della realtà.

Il vagare con la mente è fonte inesauribile di creatività, la scintilla dell'innovazione che porta a una crescita delle conoscenze e a creazioni geniali. Immagino questi momenti come il volo di un gabbiano che, dopo aver faticosamente raggiunto il punto più alto, ferma il movimento e, ad ali spiegate, si libra elegante nel cielo lasciandosi portare dal vento, senza opporsi. È quello il nostro *default mode,* il momento in cui la nostra mente, non più impegnata nel compito del volo, libera da attività coscienti, si abbandona a guardare dall'alto nel suo intimo e a essere invasa da ricordi e pensieri che si riattivano in modo inconscio, intrecciandosi in maniera spontanea, talvolta stravagante.

È difficile dire a cosa pensa il cervello in queste fasi in cui sembriamo staccati dal mondo, perché i pensieri spesso si innescano e viaggiano da soli, anche quando non lo vorremmo, o magari proprio quando vorremmo fermarli. E se per un attimo ci sembra di fermare la mente, un attimo dopo siamo nuovamente avvolti da una serie di flash che riguardano il futuro, anticipazioni di ciò che dovremo fare, o riflessioni spontanee su eventi passati. In pratica, sogniamo a occhi aperti, lasciamo vagare la mente nel tempo e nello spazio, senza un apparente scopo, cosa che per molto tempo è stata considerata assolutamente priva di senso, ma che oggi si ritiene abbia molto a che fare con la creatività.

Le idee possono illuminarci in qualsiasi momento, anche se, di base, vengono alla mente più facilmente quando, come il gabbiano, ci lasciamo andare, ci abbandoniamo. Talvolta può essere la noia a spingerci a prendere decisioni insolite, a concepire idee rivoluzionarie, a

progettare qualcosa che in condizioni normali non si farebbe mai. Le grandi idee, i momenti di intuizione creativa, spesso sembrano non arrivare quando le persone sono al lavoro su un problema, ma quando sono distratte: durante una passeggiata, sotto la doccia, pensando ad altro. All'improvviso, idee che in precedenza erano isolate, si uniscono e la persona vede connessioni che prima le erano sfuggite.

Un'altra particolarità importante dell'atto creativo è la sua imprevedibilità, il fatto che esso arrivi in momenti inaspettati. Non è un caso che l'intuizione si affacci spesso nel dormiveglia, nei momenti di riposo, quando le vie del cervello sono sgombre e hanno quindi libero gioco gli incontri creativi delle attività nervose, «gli incontri fortunati di attività cerebrali spontanee» come scrive Lamberto Maffei.

Per Seneca, solamente quando vi sono le condizioni e il tempo di riflettere, quando si recupera il *taedium vitae*, scatta l'opportunità di frequentare se stessi, di trovare intuizioni preziose, soluzioni impreviste. Solamente in queste condizioni il cervello attiva l'immaginazione e trova l'opportunità di riflettere e creare.

La creatività è capacità di intuire il nuovo e di risolvere problemi complessi, di organizzare conoscenze intorno a una visione inedita; è capacità di creare e inventare immagini (mentali, verbali, pittoriche, musicali…) e di *realizzarle*. Dove c'è creazione, qualcosa che prima non c'era entra nel nostro mondo e lo trasforma, modificando la percezione e il senso della vita.

Ma il nostro processo mentale spesso è fluido e i nostri pensieri effimeri. E allora, per evitare che le cose che illuminano la nostra mente vengano dimenticate, è bene metterle subito per iscritto. Oltretutto, scrivendo, fissiamo le nostre parole non solo sulla carta ma anche nella nostra memoria a lungo termine.

La creatività, a differenza di altre funzioni cognitive, è al massimo durante l'infanzia e si perde a mano a mano che si cresce. Eppure la creatività, nella vita, nel lavoro, nelle relazioni sociali, è ritenuta una delle funzioni cognitive più importanti, alla base dell'*intelligenza* come viene definita oggi, cioè della *capacità di risolvere problemi nuovi*. Secondo il World Economic Forum, la creatività sarà un'abilità cruciale per il mondo del lavoro di domani. In quest'ottica, non basterà più essere efficienti e svolgere le mansioni con diligenza, bisognerà essere creativi.

Come diceva Einstein: «La logica può portarti dal punto A al punto B, ma l'immaginazione può portarti ovunque».

Un test effettuato su adulti e su bambini in età prescolare, allo scopo di valutare le capacità di trovare soluzioni creative, ha dato risultati sconcertanti. Il punteggio finale dei bambini è stato di quasi 50 volte superiore a quello degli adulti, il che significa che a quell'età si è 50 volte più ricchi di immaginazione e di creatività; ciò perché la loro mente può volare libera da complessi e censure finché, giunta l'età adulta, la completa maturazione delle aree prefrontali imporrà tutta una serie di regole, norme, schemi, che lentamente smorzeranno quella spontanea creatività del nostro cervello da piccoli. Purtroppo, troppo spesso, la creatività dei bambini e di molti adulti è tarpata dalla tecnologia, da certe regole dateci dall'istruzione e da tutti quei condizionamenti che limitano la libera navigazione nel cielo del pensiero, del gioco e dell'inventiva.

Bisognerà cambiare il sistema di educazione dei bambini? Forse! Certamente bisognerà lasciargli la libertà di potenziare il desiderio di apprendere e di esprimersi, e dargli anche il tempo di annoiarsi. La noia è la madre della creatività. Tutti i grandi geni hanno cominciato a pensare in un momento di pausa. Se non c'è noia, se il bambino è sempre incollato alla televisione o ha tutto il suo tempo occupato da attività, per quanto intelligenti esse siano, la sua creatività sarà soffocata dalla mancanza di occasioni per esprimersi. Il bambino che ha tutto, che non ha tempo per annoiarsi difficilmente guiderà liberamente il proprio cervello alla fantasia, all'immaginazione, alla creatività. È necessario riportarli, almeno un po', alla poesia e alla fantasia. Forse bisognerebbe entrare in una nuova era dell'educazione, che metta al primo posto la creatività e la capacità di risolvere problemi, invece del mero esercizio dell'apprendimento mnemonico di fatti e cifre.

Il bello della creatività è che continua a rinnovarsi, ad aspirare sempre a qualcosa che non c'è.

E in questo non c'è differenza tra uno scienziato, un artista o un poeta; tutti partono da un'immagine mentale, da una folgorazione improvvisa, dalla forza dell'immaginazione. Newton, Proust, Mozart, allo stesso modo ebbero prima un lampo della mente e solo dopo vennero le dimostrazioni della matematica, le successioni di parole, le cascate di note, che traducevano in linguaggio concreto fantasie e sogni.

Nel suo lavoro quotidiano, nella sua capacità di ragionare, di pianificare e di risolvere problemi, il grado di capacità di elaborazione del cervello si esprime con il termine *intelligenza.* Si può definire l'intelligenza come quella capacità che permette di affrontare e risolvere con successo situazioni e problemi nuovi o sconosciuti. Un'altra delle sue principali prerogative è quella di saper progettare un futuro che vada oltre le spinte dell'istinto o le regole della sopravvivenza. Intelligenza è anche il complesso di facoltà psichiche e mentali che ci consentono di pensare, comprendere i fatti, giudicare e adattarci all'ambiente.

Anche la creatività è legata all'intelligenza, così come la curiosità, l'immaginazione, l'intuito.

La creatività viene spesso in aiuto dell'intelligenza; le permette, per vie intuitive e non razionali, di risolvere problemi là dove la logica non riesce.

La *curiosità*, coadiuvata dall'immaginazione, stimola l'intelligenza, apre passaggi segreti e la spinge a porsi degli obiettivi innovativi e visionari, a percorrere strade che non avrebbe mai preso, a portare il ragionamento e il pensiero oltre le barriere consuete, a porsi domande su temi complessi e a cercarne le risposte. La curiosità nasce dal desiderio di ricercare il nuovo, lo sconosciuto, di ampliare i limiti della conoscenza; spinge la mente oltre ciò che da lei è conosciuto.

La mancanza di curiosità limita il campo d'azione dell'intelligenza, toglie l'apertura mentale necessaria per cogliere in modo ampio la realtà. I bambini appena iniziano a parlare, chiedono continuamente: «Perché?». Senza curiosità, buona parte delle nostre conoscenze ci sarebbe ignota. Molto appropriatamente, *Curiosity* è il nome dato alla sonda-robot che il 6 agosto 2012 è atterrata su Marte.

L'*immaginazione*, a sua volta, volando oltre la logica, ci permette di elaborare liberamente i contenuti di un'esperienza sensoriale, di creare con il pensiero e la fantasia ciò che non esiste, di «vedere» immagini o pensieri indipendentemente da una loro effettiva presenza, intuendone la raggiungibilità. Sta poi all'intelligenza la verifica razionale di quanto l'immaginazione propone, se continuare l'opera o lasciar spegnere il fuoco.

L'essenza della genialità di Einstein fu probabilmente la sua straordinaria capacità di immaginare il futuro, simulandolo per esperimenti concettuali, creando nuovi principi della Fisica. Come disse

lui stesso, «il vero segno dell'intelligenza non è la conoscenza ma l'immaginazione».

Che cosa significa essere intelligenti? Semplicemente avere la capacità di ragionare in modo logico, di risolvere problemi, di imparare. Spesso, per valutare l'intelligenza, si fa riferimento al QI, al quoziente intellettivo. Con questo, però, riusciamo a valutare soprattutto le capacità verbali e logiche, misuriamo solo alcuni aspetti dell'intelligenza. Ma l'intelligenza non è solo venire a capo di un problema matematico complesso, ma anche, in una situazione di pericolo, trovare il modo di venirne fuori. Il QI non riesce a valutare la curiosità, l'immaginazione o la creatività, e neanche la motivazione, la perseveranza, o tutta una serie di altri fattori che caratterizzano il nostro modo di affrontare la vita.

A differenza dei computer che elaborano solo le informazioni, noi siamo sommersi da emozioni, viviamo esperienze che ci modellano il cervello e incidono sul modo di vedere il futuro. Per questo non basta il QI per sapere come riusciremo nella vita. In linea di massima, possiamo dire che è intelligente chi, in situazioni anche molto diverse, riesce a adattarsi al contesto e a risolvere i problemi in maniera efficiente.

Pur essendo più di 500 i geni coinvolti nell'intelligenza, essi possono spiegare solo parte delle differenze nelle abilità mentali. L'ambiente, le relazioni con gli altri, le esperienze personali, hanno un ruolo altrettanto importante nel definire il nostro livello intellettivo. Più vasta e frastagliata sarà la nostra cultura, più ricche le nostre esperienze, più saremo in grado di cogliere e accettare nuovi punti di vista e di costruire ipotesi e scenari che, a prima vista, potrebbero apparire insoliti o impossibili. Confrontarsi con una visione diversa dalla nostra, modificare gli schemi cognitivi, assimilare nuove conoscenze, ampliare il nostro *connettoma* rende il pensiero maggiormente capace di creare associazioni mentali nuove e intelligenti. E questo spiega perché la differenza tra il cervello di una persona normale e quello di un genio come Einstein sia la presenza, in questo, di tanta materia bianca, fatta dalle tante connessioni fra le aree cerebrali che aveva sviluppato nel corso della vita. L'intelligenza, infatti, è dinamica, non dipende da una singola area, ma dall'interazione e cooperazione efficiente fra molte regioni. Tutto nel cervello si basa su connessioni tra reti neurali. Durante tutta la vita, il cervello, esposto a stimoli, aggiorna di continuo le

conoscenze, forma nuove vie di comunicazione fra neuroni rendendoli più veloci e aumentando la performance generale. La creatività è una caratteristica importante di un cervello ricco di reti neurali; è dall'insieme delle nuove connessioni che nascono soluzioni innovative. Un dato curioso è che globalmente l'attività nervosa di chi è più intelligente sembra sia di circa il 20 per cento più bassa rispetto alla media: un cervello intelligente sa anche dosare le energie.

Ma quale sia la scintilla che fa sì che, in un certo momento, imprevedibilmente, milioni di neuroni producano un'idea innovativa, o perché scatti la curiosità e l'anelito verso la novità, la scienza ancora non è riuscita a stabilirlo. Tuttavia, è certo che sono state la curiosità, l'immaginazione e la creatività a spingere l'intelligenza ad andare oltre la semplice rappresentazione logica della realtà e a immaginare le opere d'arte, di architettura e di ingegneria di tutti i tempi, le scoperte scientifiche che hanno fatto progredire la nostra società, a esplorare le profondità del cosmo e le infinitamente piccole parti della materia e, infine, a addentrarsi nei segreti della nostra mente.

Molti sono ancora i risultati che il nostro intelletto riuscirà a raggiungere perché la sua evoluzione non è certo destinata ad arrestarsi. C'è, nella storia dell'umanità, un accumularsi progressivo di conoscenze che ritroviamo nello sviluppo di nuove tecnologie, nei libri, nelle nuove forme di diffusione della conoscenza, in quello che chiamiamo cultura, e che fa sì che ogni intelligenza abbia una partenza iniziale sempre superiore a quella della generazione precedente, e potenzialità talmente straordinarie da raggiungere risultati prima neanche immaginabili.

Alcuni scienziati del campo dell'intelligenza artificiale sostengono che i computer, una volta diventati abbastanza potenti grazie all'intelligenza dell'uomo e allo straordinario progresso delle tecnologie, potranno mostrare lo stesso tipo di intelligenza creativa generalmente attribuita alle persone, esprimendo abilità umane quali la formulazione di nuove idee. Secondo alcuni, verrà il momento in cui gli scienziati creeranno macchine più intelligenti degli esseri umani; e queste macchine, a loro volta, saranno in grado di progettare computer ancora più intelligenti.

Probabilmente il progresso scientifico arriverà anche a questo. Ma è certo che ai computer mancherà, forse per sempre, oltre all'emozione e

alla consapevolezza di sé, anche la creatività!

Si dice che utilizziamo solo una piccola parte del nostro cervello, solo il 10 per cento della nostra potenziale intelligenza. La realtà è che il cervello noi lo utilizziamo sempre al massimo, anche perché sarebbe estremamente complesso escluderne una parte; e poi quale? È tuttavia vero che non tutti lo sviluppiamo allo stesso modo, e sicuramente non tutti lo sviluppiamo al massimo. Si può usare un esempio banale. Possiamo utilizzare un'automobile andando a 50 o a 150 chilometri orari. In entrambi i casi il motore lo utilizziamo sempre tutto, ma in modalità diverse. Lo stesso è per la mente; ci sono persone che hanno preparato il loro cervello per andare veloce e altre che restano lente. L'efficienza del nostro cervello dipenderà dalle capacità mentali che abbiamo sviluppato nel corso della vita. Il vero substrato dell'intelligenza consiste proprio nel modo di usare il cervello. Per nostra fortuna, il cervello e la mente possono essere implementati sempre, anche da adulti.

Un grosso obiettivo della ricerca di oggi è quello di aumentare le nostre capacità intellettive, nel presupposto che l'utilizzazione che noi ne facciamo sia limitata e che il cervello umano abbia potenzialità che ancora non siamo capaci di sfruttare.

# 9
# Come vediamo la realtà

*Tardi sono i sensi del corpo, proprio perché tali: questa è la loro modalità. Sono giusto sufficienti per lo scopo per cui sono stati fatti.*

Sant'Agostino, *Confessioni*

La visione è tra le funzioni più importanti che abbiamo, ma spesso è compromessa da lesioni che, in vario modo, danneggiano le strutture deputate al suo funzionamento.

Tra le lesioni che con facilità possono essere causa di disturbi visivi, ci sono i tumori che nascono dalla regione ipofisaria, un'area che sta al centro del cranio subito dietro le orbite. Per una particolare organizzazione anatomica delle vie ottiche, il paziente affetto da queste patologie spesso perde la visione dei campi visivi più esterni, bilateralmente; la sindrome clinica che ne deriva viene chiamata *emianopsia bitemporale*.

Ricordo con particolare emozione un intervento effettuato qualche anno fa su una bambina, per un grosso tumore benigno della regione soprasellare, cioè di quello spazio compreso tra ipofisi e vie ottiche. Era

venuta da me, accompagnata dalla madre, proprio per la comparsa, bilateralmente, di una progressiva riduzione del campo visivo più esterno. Vedendole molto preoccupate, avevo spiegato con pazienza la funzione dell'ipofisi, dicendo come da quella ghiandola dipendesse l'equilibrio ormonale del nostro organismo, avevo illustrato l'effetto della compressione delle vie visive e, soprattutto, avevo sottolineato il fatto che il tumore era benigno e che una sua rimozione avrebbe determinato la scomparsa dei disturbi visivi e la guarigione dalla malattia. Mi sentivo sicuro di quello che dicevo perché avevo operato parecchie centinaia di casi analoghi.

Decidemmo di operare la piccola paziente per via nasale, evitando così l'apertura della scatola cranica e i maggiori rischi che questo comportava. Dovevamo scollare le mucose nasali, raggiungere la base cranica, fare una piccola breccia sull'osso e raggiungere il tumore scivolando davanti all'ipofisi per non danneggiarla. Pur essendo un intervento ripetuto tante volte, i rischi possibili erano tanti: poteva danneggiarsi l'ipofisi, il che avrebbe costretto la giovane paziente a sottoporsi per tutta la vita a una terapia ormonale sostitutiva, con possibili problemi per il ciclo mestruale e per una futura gravidanza; poteva lacerarsi la carotide, vicinissima alla massa da rimuovere, il che avrebbe potuto determinare una grave emorragia, non sempre facile da controllare; poteva peggiorare il disturbo visivo, perché il tumore era aderente alle vie visive e distaccarlo avrebbe potuto creare dei danni.

Il tumore fu raggiunto facilmente, evitando di passare attraverso l'ipofisi e di danneggiarla. La massa, al microscopio, appariva biancastra, lattiginosa, compatta ma facilmente scalfibile con gli strumenti chirurgici. Fu possibile staccarla dalla carotide, dalle vie ottiche e dal peduncolo ipofisario e rimuoverla totalmente.

Tutto era andato bene e la rimozione del tumore era sembrata tecnicamente perfetta. Ma, mentre la paziente veniva alleggerita dall'anestesia, ci accorgemmo che entrambe le sue pupille erano fortemente dilatate, midriatiche, cioè che i nervi ottici erano molto sofferenti. In questi casi, se non si rimuove la causa della midriasi, si può anche diventare ciechi.

Non capivo cosa potesse essere accaduto: un'emorragia con compressione delle vie ottiche era la cosa più ovvia, ma all'intervento l'emostasi era apparsa perfetta. Un danno alle vie visive da trauma

chirurgico? Mi sentivo di escluderlo vista la delicatezza con cui avevamo dissecato il tumore dal chiasma ottico e dai nervi. E allora? Qualunque fosse la causa della sofferenza, non si poteva aspettare, bisognava toglierla prima possibile.

Dissi di riportare immediatamente la paziente sul tavolo operatorio e che avrei esplorato la sede dell'intervento. Se qualcosa stava comprimendo i nervi ottici, era lì che l'avremmo trovata. I miei assistenti insistevano per fare una TAC e capire cosa stesse succedendo, ma l'esame avrebbe comportato del tempo che poteva essere prezioso.

Mentre rimettevano la paziente sul letto operatorio, mi accinsi a fare la cosa più difficile; feci chiamare la mamma in sala operatoria e cercai di spiegarle cosa stava succedendo, che sua figlia stava perdendo la vista. Con le lacrime agli occhi mi strinse un braccio e mi disse di andare avanti.

Riaperta la cavità chirurgica non trovammo ematomi, ma solamente il materiale emostatico che lasciamo sempre per prevenire un possibile sanguinamento postoperatorio. Era un bene che non si fosse verificata un'emorragia, ma allora perché le pupille erano dilatate? Mentre discutevamo fra noi e cercavamo risposte, continuavo a fissare, quasi senza vederla, la piccola spugna emostatica che riempiva la cavità. All'improvviso, senza una ragione, quella spugna cominciò a inquietarmi; e se fosse stata quella la causa della compressione delle vie ottiche? Andando contro la logica, e senza una ragione specifica, presi una pinza e la rimossi. A quel punto si evidenziarono le strutture ottiche perfettamente normali, senza segni di lesione alcuna. Ma perché non vedeva? Poteva essere colpa solamente della piccola spugna emostatica, anche se in centinaia di altri interventi avevamo usato la stessa tecnica? Ancora una volta non c'era modo di avere una risposta. Bisognava aspettare. Al risveglio le pupille della ragazza erano perfettamente normali e la paziente vedeva meglio di prima.

Uscii dalla sala operatoria con altri sentimenti e con un'espressione più serena. Non fu necessario dire nulla alla madre di Giorgia; guardandomi capì tutto e si mise a piangere di gioia. Se non avesse recuperato la vista, come avrei fatto a spiegarle perché sua figlia, operata per curare un lieve disturbo visivo, era diventata cieca?

In chirurgia, e in particolare in una chirurgia così delicata come la nostra, dove ogni struttura e ogni millimetro sono importanti, la

possibilità di una complicazione fa parte della stessa chirurgia, fa parte della risposta biologica individuale al trauma chirurgico, indipendentemente da quanto correttamente il chirurgo abbia operato. Ma ogni complicanza operatoria è un tuffo al cuore. Tutto a un tratto succede qualcosa che richiede una contromisura immediata, in una situazione in cui anche pochi minuti possono essere determinanti. Per le complicanze non esistono manuali da consultare. In una medicina oramai molto basata sugli esami strumentali, molto spesso il chirurgo deve lasciarsi guidare dal proprio intuito e dall'esperienza; e spesso sono questi che gli permettono di risolvere i problemi. Il pensiero veloce, in questi casi, prende il sopravvento.

Voglio parlarvi adesso dei meccanismi della visione, non di quelli di uno qualunque degli altri sensi, perché la vista è la nostra funzione più bella. Pensate semplicemente a cosa sarebbe la nostra vita senza la vista, a quante cose ci perderemmo, dalle bellezze del mondo ai visi delle persone che amiamo.

Dei tanti aspetti della visione ho cercato di scegliere quelli che mi sono sembrati più intriganti, che maggiormente possono suscitare l'interesse di un lettore curioso.

Per cominciare voglio parlare della luce. La luce è fondamentale per osservare il mondo in cui viviamo. Il nostro è un mondo di luce ed è la luce che, entrando negli occhi, ci permette di apprezzare tutto ciò che ci circonda. Senza la luce il nostro senso più bello non avrebbe vita.

La luce non è altro che una forma di radiazioni elettromagnetiche caratterizzate da onde di varia lunghezza, prodotte da particelle chiamate fotoni, che sono riflesse dagli oggetti che guardiamo.

Oltre alla luce, nell'azione di guardare sono coinvolti milioni e milioni di neuroni, dai fotorecettori della retina che rispondono a una sequenza di luce, ai neuroni corticali che, per esempio, costruiscono nella mente il volo di un aeroplano.

La visione, nella nostra vita, è di gran lunga il senso dominante, il modo più efficace per acquisire nuove informazioni su persone, luoghi e oggetti. La visione è la porta più importante della nostra conoscenza e di quella qualità straordinaria della nostra mente che è la coscienza.

La macchina cerebrale che permette tutto ciò è estremamente complessa. La metà dell'informazione sensoriale che arriva al cervello è

visiva, più di un terzo del cervello umano è dedicato alla missione della visione, a trasformare nella nostra mente grezzi fotoni di luce nella moltitudine di persone che incontriamo ogni giorno.

Eppure, l'atto di vedere ci sembra un'azione così naturale: basta girare lo sguardo verso qualcuno o qualcosa, e nulla più; è il cervello che poi fa tutto da solo.

Dal punto di vista anatomico le vie visive sono quell'insieme di fibre che dalla parete posteriore dell'occhio, dove sono le cellule fotosensibili della retina, portano l'informazione alla corteccia occipitale. La loro organizzazione è abbastanza complessa, ma ci permette di entrare in alcuni segreti intriganti del funzionamento del cervello.

La prima cosa da dire è che le immagini che guardiamo con gli occhi non percorrono l'insieme delle vie visive, dalla retina alla corteccia occipitale, come un semplice trasferimento di un'informazione visiva, ma nel loro percorso subiscono una serie di trasformazioni.

La prima elaborazione dell'informazione visiva avviene già nella retina. Immaginiamo di passeggiare in un campo verde e di notare una margherita bianca. Quando i segnali del fiore raggiungono il cristallino dell'occhio, questo li concentra sulla retina dove le cellule fotosensibili si attivano producendo una sequenza di segnali elettrici, detti *potenziali d'azione*, i quali, da quel momento, viaggeranno lungo le vie visive. La retina, quindi, non trasmette passivamente l'immagine del fiore come se fosse una semplice fotografia, ma converte i fotoni di luce in schemi di segnali elettrici, i quali rappresentano una sorta di linguaggio cerebrale, l'unica modalità che ha il cervello per trarre informazioni dal mondo esterno.

C'è da dire che tutto questo non avviene soltanto per la visione; tutti gli stimoli sensoriali che ci giungono dall'ambiente, per poter giungere alla corteccia, debbono essere tradotti in segnali elettrici. Per esempio, i meccanismi del nostro orecchio convertono le onde sonore dell'aria in analoghi segnali elettrici, i recettori della pelle convertono pressione, stiramenti, temperatura e irritazioni chimiche in altrettanti segnali elettrici.

Tutto ciò vuol dire che vedere il viso di un bimbo mentre sorride, guardare incantati i colori di un tramonto, oppure sentire una musica in lontananza, sono tutte esperienze provocate da diverse combinazioni di

flussi di segnali elettrici nei circuiti neurali del nostro cervello.

In pratica, i segnali elettrici sono i codici segreti di cui il cervello si serve per fare la sua esperienza del mondo.

C'è una cosa importante da segnalare riguardo alla visione e cioè che le lunghezze d'onda cui il nostro occhio è sensibile, e che costituiscono la cosiddetta *luce visibile*, rappresentano solo una piccolissima parte dello spettro globale, quella che si estende da 380 a 780 nanometri, che va dal rosso al violetto. Queste lunghezze d'onda rappresentano meno di un trilionesimo dello spettro elettromagnetico globale. Tutto il resto, incluse le onde radio, le microonde, i raggi X, i raggi gamma, le radiofrequenze, il wi-fi eccetera, passa attraverso noi e noi ne siamo del tutto inconsapevoli. Questo succede perché non abbiamo nessun recettore biologico specializzato per captare questi altri segnali, perché alla nostra specie non serve, così come a noi non serve sentire le frequenze sonore troppo basse né quelle troppo alte, i cosiddetti ultrasuoni.

Questo vale per tutti gli esseri viventi. Nella retina dei ranocchi, per esempio, esistono cellule superspecializzate capaci di rispondere selettivamente a stimoli sensoriali molto specifici: reagiscono soltanto alla visione di un moscone in volo. Tutto il resto non interessa, non viene letteralmente nemmeno visto. Non è utile alla loro sopravvivenza.

Questo ci porta a fare alcune considerazioni. La storia lunga e complessa della nostra specie ha permesso di selezionare nel nostro DNA ciò che più è importante per sopravvivere. Per questo il nostro apparato visivo risponde a rigide regole imposte dall'evoluzione e ci porta automaticamente verso un modo soggettivo di interpretare la realtà. È in conseguenza di ciò che la fetta di realtà che possiamo vedere è fortemente limitata dalla nostra biologia. E questo vale per tutti gli altri sensi, non solo per la visione.

Ma perché non riusciamo ad avere un quadro completo della realtà? Perché ogni atto cerebrale costa energia. Il cervello costituisce il 2 per cento del nostro corpo ma per svolgere le sue funzioni consuma un quinto dell'ossigeno e del glucosio in circolo, cioè il 20 per cento dell'energia totale. Per questo cerca di risparmiare più energia possibile e questo significa processare, dai nostri sensi, solo la quantità minima di informazioni che ci è indispensabile per sopravvivere e navigare nel mondo.

Ma proseguiamo il nostro viaggio lungo le vie visive.

Le vie ottiche, dopo un lungo percorso che comporta una nuova elaborazione dei segnali in una struttura talamica detta *nucleo genicolato laterale,* raggiungono la corteccia visiva primaria nel lobo occipitale. E qui, finalmente, entra in gioco il cervello, anzi, per essere più precisi, entra in gioco la mente.

L'occhio, la retina e poi le fibre visive sono solo la porta e i cavi attraverso cui i raggi di luce entrano e corrono nella nostra testa. Anche se complicati e con milioni di ingranaggi, sono semplici meccanismi del gioco della visione; ma non sono loro a vedere: quello è privilegio della mente.

«La bellezza nelle cose esiste nella mente di colui che le contempla» diceva il filosofo David Hume. E Oscar Wilde scriveva: «È dentro il cervello che il papavero diventa rosso, la mela odora e l'allodola canta».

Charles Sherrington, famoso neurofisiologo inglese, paragonava il cervello capace di ciò a un «telaio incantato», capace di creare, solo per noi, una realtà straordinaria. Perché non vi è nella corteccia occipitale una lavagna o uno specchio che rimandi ciò che gli occhi hanno visto.

Ciò che si propaga fino al culmine del cervello non è nient'altro che una serie di reazioni elettriche. Ma quando questi segnali raggiungono la corteccia, avviene l'ultimo straordinario cambiamento: un'immagine ci si affaccia alla coscienza e vediamo le valli e la luce del tramonto, percepiamo l'immagine del mondo che ci circonda. E ancora oggi nulla può spiegarci perché i colori ci appaiano come appaiono, perché il blu è blu ed è diverso dal rosso, o perché i colori appaiono diversi dal suono della musica o perché non profumano del profumo di una rosa e sono così diversi dalla sensazione di dolore. Allo stesso modo, l'aria che vibra diventa musica, linguaggio o rumore, prodotti dal cervello.

Nel potenziale d'azione che attraversa la nostra testa per raggiungere la corteccia non esiste nulla di simile all'emozione di un cielo spolverato di stelle, né nella corteccia cerebrale possiamo trovare la forma di una nuvola. Nulla nella materia, fino a oggi, è in grado di spiegare le qualità della mente.

Questo è l'enigma della coscienza ed è anche il mistero più profondo della nostra conoscenza. È il problema difficile, «the hard problem», com'è stato definito dai neuroscienziati.

È nella costruzione di queste rappresentazioni interne del mondo

visivo che vediamo all'opera i processi creativi della mente. Ed è interessante che tutta questa straordinaria elaborazione di dati, che costituisce l'insieme del processo della visione, avvenga dietro le quinte, senza entrare nelle stanze della coscienza. È per questo che vedere ci sembra un'operazione così facile e naturale.

Una volta che i potenziali elettrici partiti dalla retina hanno attivato le aree corticali, il processo di apprendimento dell'esperienza visiva non può ancora considerarsi concluso.

Le informazioni provenienti da tutte le aree cerebrali coinvolte nella visione, insieme a quelle fornite dagli altri sensi che insieme alla visione completano l'esperienza sensoriale, vengono convogliate alle regioni cognitive del cervello, alla corteccia prefrontale. In questo processo di elaborazione vengono coinvolte anche le aree della memoria e l'informazione sensoriale viene analizzata alla luce di analoghe esperienze passate fissate tra i nostri ricordi. Solo a questo punto nasce l'immagine finale che percepiamo, composta da tutti i diversi stimoli che hanno contribuito a quell'esperienza; ed è a questo punto che quell'immagine ci emoziona o ci disgusta, ci fa innamorare o ci lascia indifferenti.

Uno dei tanti puzzle irrisolti delle neuroscienze è capire come fa il cervello a produrre un quadro singolo, unificato, del mondo, visto che la visione è processata in una regione, l'udito in un'altra, il tatto in un altro ancora e così via. Questo è ciò che gli scienziati chiamano il *binding problem*, il meccanismo chiave della corteccia cerebrale grazie al quale essa è capace di mettere assieme informazioni sensoriali provenienti da aree cerebrali diverse e darci l'esperienza intera di un concerto, con i suoni, l'orchestra, i fiori, il pubblico e gli applausi, senza alcuna sbavatura. Questa è la parte della visione che ha a che fare con il pensiero e con i processi cognitivi.

Penso che a questo punto sia chiaro come la visione non sia semplicemente una finestra sul mondo, ma una vera e propria creazione del cervello, qualcosa di assai più ricco dell'immagine che ha impressionato la nostra retina.

Voglio finire questo capitolo affrontando un argomento attorno al quale,

da tempo immemore, ci si interroga ogni volta che si pensa al cervello cognitivo. Ed è relativo alla realtà esterna a noi.

Se tutto ciò che vediamo è frutto di un'elaborazione di segnali da parte del nostro cervello, la domanda che viene da porci è: ma com'è *veramente* la realtà fuori di noi?

Malgrado ognuno di noi sia convinto che ciò che vediamo rappresenti un'esperienza diretta del mondo, la realtà vera è che il nostro mondo è costruito nel buio, sulla base di un linguaggio estraneo fatto di segnali elettrochimici. Nessuno ha un'esperienza della realtà oggettiva che esiste là fuori. Le neuroscienze ci dicono che conosciamo il mondo solo per com'è costruito dal nostro cervello, che tutto è nel cervello, non solo il colore e il gusto ma anche lo spazio e il tempo, la massa, il numero, l'estensione. È tutto un incredibile paradosso, come dice Emily Dickinson: «Il cervello, un piccolo nodo nella trama del mondo, è la sola fonte del mondo intero».

La realtà della nostra vita è questa: il cervello, racchiuso nel buio del nostro cranio, non ha accesso al mondo esterno, non ha esperienza diretta del mondo di fuori, e mai potrà averla; sono gli organi di senso le finestre attraverso cui il cervello guarda il mondo. I nostri organi di senso rilevano un insieme eterogeneo di informazioni (fotoni, onde di aria variamente compressa, concentrazioni di molecole, pressioni, temperature) e le traducono nell'unico linguaggio comune del cervello: segnali elettrochimici che corrono dentro la nostra testa seguendo la densa rete di neuroni. Quindi, qualunque cosa colpisca i nostri sensi e che noi poi chiamiamo luce, odore o suono, piuttosto che essere un'esperienza diretta è una interpretazione elettrochimica in un teatro oscuro.

Ma allora, com'è fatto per davvero il mondo che sta all'esterno della nostra testa? La scienza ci dice che forse manca il colore, essendo questo il risultato di segnali elettrochimici. Ma non ci sarebbe nemmeno il suono: ciò che captiamo con le orecchie e trasformiamo in segnali elettrici sarebbe solo compressione ed espansione dell'aria che ci circonda, salvo poi l'elaborazione mentale in suoni, melodie, rumori. Anche l'odore non esisterebbe al di fuori del nostro cervello.

In molti dicono che il mondo che ci circonda, con la ricchezza dei suoi colori, dei suoi suoni e dei suoi odori, non sia altro che un'illusione, una finzione allestita dalla mente, «un'ombra che cammina» direbbe

Macbeth. Che se potessimo percepire la realtà com'è davvero, rimarremmo scioccati per la sua totale mancanza di ciò che, istante per istante, percepiamo, perché all'esterno del cervello esisterebbero solo l'energia e la materia; e che nei milioni di anni di evoluzione, il cervello umano avrebbe sviluppato la capacità di trasformare energia e materia nell'esperienza sensoriale del mondo come oggi noi lo vediamo.

In pratica, quando inconsapevoli passeggiamo in riva al mare, senza che ne abbiamo alcuna consapevolezza, innumerevoli segnali provenienti dall'ambiente che ci circonda colpiscono i nostri organi di senso e vengono tradotti in segnali elettrici. Poi, in un modo che non comprendiamo, il cervello traduce gli innumerevoli fasci di onde e di segnali elettrici che lo percorrono nel blu del mare, nel frastuono del vento, nel suono di una chitarra che un ragazzo suona in lontananza, o nel profumo di un fiore. Senza questa elaborazione, il blu del mare non esisterebbe poiché le sue onde luminose possono diventare blu solo nel cervello.

In pratica, è il cervello che attribuisce un significato ai segnali che riceve e li trasforma in ciò che per noi acquisisce il valore di nuove esperienze e di nuove conoscenze.

Come affermava Kant, ciò che del mondo conosciamo lo apprendiamo solo in funzione di operazioni di quella che noi, per i nostri propositi, chiamiamo mente. Il cervello, in fondo, si è costruito secondo regole e leggi sviluppatesi nel corso di millenni di evoluzione, imparando tramite la sua stessa esperienza. Tutto ciò l'ha portato ad avere una conoscenza del mondo, non come se lo riproducesse in uno specchio, ma come i meccanismi che ha sviluppato al suo interno sono in grado di farglielo vedere. In forza di ciò, il cervello può avere informazioni di ciò che ci circonda in un solo modo, attraverso i nostri organi di senso che agiscono da interfaccia con la realtà esterna e che captano, da varie fonti, una serie eterogenea di stimoli trasformandoli nell'unico linguaggio che il nostro cervello sa decifrare, cioè in segnali elettrochimici. E questi, dopo una lunga corsa attraverso la fitta rete di neuroni che sono le principali fonti di segnalazione del cervello, raggiungono aree cerebrali capaci di decriptare quei segnali trasformandoli in suono, immagine, odore eccetera.

Allora, quando vediamo un mare blu o sentiamo il sapore dell'uva o l'odore dell'erba dopo la pioggia, li immaginiamo soltanto? Questo vuol

dire che la realtà come la vediamo noi non esiste? Ma com'è possibile? Com'è possibile che la nostra percezione della realtà abbia poco a che vedere con ciò che c'è fuori di noi? E che senso avrebbe?

Il quesito cui nessuno, con le conoscenze attuali, è in grado di dare una risposta è: in cosa consiste la realtà da cui si genera quell'energia che noi traduciamo in segnali elettrochimici e che poi il nostro cervello traduce in una cattedrale o in un concerto di Chopin? Il cervello non fa altro che riprodurre una realtà obiettivamente esistente, oppure ciò che la nostra mente ci presenta come reale non è altro che un artificio senza alcun rapporto con una realtà obiettiva esterna a noi?

Dal punto di vista pratico questo non cambia in nulla il nostro modo di vivere, il nostro pensiero o la nostra creatività. Da un punto di vista filosofico e ontologico, tuttavia, pensare che tutto ciò che costituisce la nostra vita sia soltanto una falsa ricostruzione realizzata, per noi poveri ingenui, dai meccanismi della mente ci porta a pensare che mai nessuna conoscenza certa potremo avere del mondo che ci circonda, e quindi della realtà in cui siamo immersi. In aggiunta, anche i principi e le leggi con cui esploriamo il mondo esterno sono un prodotto del modo di funzionare del nostro cervello; quindi, a meno di scoperte che ci permettano di toccare direttamente la realtà superando i limiti della mente, dobbiamo accettare che la realtà, per noi, con tutte le sue emozioni e le sue leggi fisiche, non possa che essere quella che il cervello ci presenta.

Se è vero che, all'inizio della storia della nostra specie, il nostro cervello si è sviluppato per acquisire e fornire informazioni utili alla sopravvivenza, allora dobbiamo pensare che abbia selezionato quelle facoltà che maggiormente gli permettevano di cogliere, della realtà, ciò che serviva a questo fine. La percezione del mondo esterno, quindi, così limitata e forse distorta, dobbiamo considerarla calibrata sulle necessità per la sopravvivenza dell'essere umano.

In alternativa, facendo un intrigante gioco intellettuale, potremmo anche pensare che la realtà esterna sia veramente come la immaginiamo e che la sua trasformazione in segnali elettrochimici sia come un codice per apprenderla con gli organi sensoriali e trasmetterla a quelle aree del cervello che dovranno poi decodificare quei segnali e ricostruirla così com'era all'origine. In fondo, anche un telefono cellulare trasforma la realtà del suono in segnali elettrici o in radiofrequenze che, captate dal

nostro orecchio, vengono poi codificate, nuovamente, nei suoni d'origine. E una fotocamera digitale appare in grado di codificare i segnali captati della realtà in impulsi elettrici per poi ritrasformarli per darci sullo schermo un'immagine del mondo esattamente uguale a quella che vedono i nostri occhi. In fondo, addentrandomi in un sentiero non scientifico, mi piace di più pensare semplicemente in questo modo piuttosto che immaginare una realtà diversa da quella che percepiamo, totalmente interpretata e inventata tramite i nostri organi di senso dal nostro cervello. Mi piace di più pensare che la donna meravigliosa che mi sta accanto sia realmente mia moglie, così come la vedo, e non un inganno della mente; mi piace di più pensare che quello che vedo intorno a me sia reale, che il mare sia blu, che la nebbiolina che nei mattini autunnali vela i panorami delle nostre valli esista veramente, che la luna sia un astro d'argento esattamente come noi la vediamo. E credo che così sarebbe anche più semplice, oltre che più bello.

Bisogna anche pensare che talvolta sono i nostri sensi a ingannarci e a mostrarci una realtà spesso diversa da come è davvero: la Terra sembra piatta, invece è una sfera; il Sole sembra roteare nel cielo, invece siamo noi a girare. Anche la struttura del tempo non è quella che sembra: è diversa da questo uniforme scorrere universale. Molta parte della conoscenza del mondo prescinde dai nostri sensi e dalle regole che conosciamo, molto spesso inadatti a cogliere tante verità, e richiederà, forse, lo sviluppo di straordinarie nuove tecnologie, capaci di dipanare i fili intrecciati dei grandi misteri che ci circondano: la realtà del mondo, la natura della mente, l'origine dell'universo, il funzionamento della vita.

Ma allora che cos'è la realtà? Secondo gli scienziati è come uno show televisivo creato dentro la nostra testa soltanto per noi. Per fortuna, talvolta, se si è fortunati, il programma è veramente straordinario.

# 10
# Intuito e logica, pensiero lento e pensiero veloce

*Se la greve sostanza della mia carne fosse pensiero,*
*... allora, a dispetto dello spazio, io sarei trasportato*
*dai confini più remoti colà dove tu sei.*
*... perché l'agile pensiero varca e terre e mari*
*nel breve tempo che basta a pensare il luogo desiderato.*

William Shakespeare, *Sonetto 44*

Tra i processi mentali, uno che ritengo di primaria importanza per la nostra capacità di interagire con il mondo è la presa di decisioni, ossia la capacità di selezionare tra le opzioni disponibili quella che con maggiore probabilità condurrà all'esito ottimale.

Quel pomeriggio la sala d'attesa del mio studio era piena. Entrando avevo notato subito un uomo e una donna particolarmente preoccupati, con una bella ragazzina tra loro e con un fascio di documenti in mano.

Quando giunse il loro turno, scoprii che la paziente era la ragazza, Antonella, di sedici anni, affetta da disturbi del ciclo mestruale e da cefalea, con forse anche disturbi della vista, e che loro erano i genitori. Inizialmente pensai al solito piccolo adenoma dell'ipofisi, la patologia più frequentemente responsabile di quel tipo di disturbo. Ma quando inserii il cd della risonanza magnetica nel mio pc e cominciarono ad apparire le prime immagini, mi trovai davanti a una massa assai voluminosa che occupava la regione dell'ipotalamo e dell'ipofisi, dislocava i nervi ottici e determinava i problemi che Antonella presentava.

L'ipotalamo e l'ipofisi sono strutture complesse e di grande importanza. Dal loro funzionamento dipendono la secrezione di tutti gli ormoni del nostro organismo e una serie di controlli fondamentali quali il senso della sete e della fame, la temperatura corporea, la concentrazione del sangue, la quantità di elettroliti che circolano nelle nostre vene e indirettamente il nostro stato di vigilanza, la nostra lucidità mentale. Sono tutte attività che il cervello svolge automaticamente e che, silenziosamente, ci permettono di vivere. Faccio un esempio: se non abbiamo il senso della sete e non beviamo, ma continuiamo a urinare, tutti i parametri ematici si alterano e possiamo morire per arresto cardiaco o andare in coma irreversibile. Certo, nessuno di noi, incontrando un amico e stringendogli la mano, gli chiede se la concentrazione del suo sodio nel sangue sia corretta o come vada la sua diuresi. Chiediamo: stai bene? Ma non sappiamo che il benessere cui ci interessiamo dipende da tanti parametri di cui non ci occupiamo e che neanche conosciamo… fino a quando qualcosa non fa inceppare il normale scorrere delle loro funzioni e, soltanto allora, ci rendiamo conto di quanto sia complesso il nostro stato di benessere.

Antonella aveva una massa che disturbava tutte queste funzioni. Rimuoverla avrebbe comportato il rischio di alterare un equilibrio che, pur precario, funzionava ancora abbastanza bene.

Per cercare di limitare i rischi, si decise di effettuare un intervento passando dal naso e di raggiungere il tumore dal basso. In questo modo avremmo risparmiato il cervello ed evitato manipolazioni di strutture molto importanti; in sostanza, avremmo cercato di svuotare il tumore dal suo interno senza essere costretti a toccare l'ipotalamo.

Antonella e i suoi genitori acconsentirono all'intervento, pur sapendo

che i rischi non erano scarsi; in fin dei conti si parlava di infilarsi tra nervi ottici e carotidi e, attraverso uno strettissimo canale, rimuovere un grosso tumore. Tutto questo avrebbe potuto riuscire oppure no, ma bisognava agire.

In sala operatoria eravamo tutti molto tesi. Capivamo la difficoltà dell'intervento, ma tutti volevamo aiutare Antonella. Dopo esser passati attraverso il naso raggiungemmo l'ipofisi e, dietro questa, individuammo il tumore. A differenza di quanto sperassimo, la massa non era molle, friabile e quindi facilmente rimuovibile; al contrario, era compatta, gommosa, impossibile da scalfire, frantumare e ridurre in frammenti per rimuoverla, anche usando gli aspiratori più potenti. Anche la minima trazione appariva fuori discussione; a ogni tentativo di tirarla in basso, tutte le strutture vicine si muovevano in blocco, con il rischio di strappare insieme ipotalamo e nervi ottici. Riuscimmo a prenderne soltanto qualche frammento, in modo da definirne la natura, e interrompemmo l'intervento.

Quando scesi nella stanza di Antonella, ad aspettarmi erano in tanti, la mamma, il padre, la sorella, tanti amici e parenti, tutti ansiosi di sentirmi dire che il problema era stato risolto. Questa volta purtroppo, per quanto lo volessimo, non era andata così. Raccontai di come si era svolto l'intervento e di cosa avevamo trovato, e mi dissi sicuro che, malgrado le trazioni e i tentativi di asportazione, non fossero state provocate lesioni a strutture importanti. Adesso, tutto dipendeva dall'esame istologico; solo dopo avremmo saputo cosa era opportuno fare.

Antonella si svegliò bene, ma passammo giorni di tensione, e finalmente arrivò l'esito istologico: si trattava di ganglioglioma fibrillare di grado I, cioè un tumore assolutamente benigno, a crescita lentissima. Non era quindi necessario un secondo intervento né bisognava fare una radioterapia; c'era solo da controllare il tumore a intervalli di tempo, con risonanze magnetiche, nella quasi certezza che non sarebbe cresciuto e non sarebbe stato necessario un ulteriore trattamento. Per prudenza, allo scopo di evitare che una minima crescita della massa ostacolasse l'assorbimento del liquor cerebrale provocando un idrocefalo, facemmo un secondo intervento di derivazione liquorale ventricolo-peritoneale; in questo modo Antonella non avrebbe corso il rischio di andare incontro acutamente a una grave ipertensione endocranica.

Ritenevo il problema risolto, ma, dopo appena un anno, mi ritrovai in studio le stesse persone, questa volta disperate perché gli esami avevano dimostrato che quel tumore benigno, che avrebbe dovuto restare fermo per molto tempo, stava crescendo in maniera evidente e Antonella stava nuovamente male, aveva mal di testa, non vedeva bene. Era alle soglie degli esami di maturità e, accogliendo un suo desiderio, tutti insieme decidemmo di attendere il conseguimento del diploma prima di prendere una decisione.

Questa volta il problema si presentava in maniera ancora più seria. Conoscendo la struttura del tumore non potevamo più cercare di toglierlo dal naso, ci avevamo provato e sapevamo già che non sarebbe stato possibile. E quindi bisognava andare per via intracranica e raggiungere l'ipotalamo attraversando il cervello. Intervento molto complesso e rischioso per due motivi, la profondità della zona da raggiungere e la delicatezza delle strutture sulle quali avremmo dovuto lavorare. Riflettei a lungo sull'opportunità o meno di sottoporre Antonella all'intervento. Sapevo benissimo che le avrei fatto correre molti rischi; ma ogni volta che mi fermavo, scoraggiato, mi dicevo: ma che alternativa abbiamo? Che altre possibilità ha? Nessuna, perché il tumore era troppo grande per essere aggredito con una radiochirurgia, troppo benigno per pensare che rispondesse a una radioterapia tradizionale; inoltre, anche per la rarità della sua natura, non esistevano chemioterapie possibili. Non restava che la chirurgia. E se fosse andata male? Era giusto rischiare di togliere ad Antonella la possibilità di un periodo di vita, pur breve, in discreta salute e trascinarla in un'avventura il cui esito nessuno poteva conoscere con certezza ma che avrebbe potuto essere gravissimo, sia per la qualità della sua vita sia per la possibilità stessa che morisse?

La neurochirurgia mette spesso noi chirurghi davanti a dilemmi di questo genere e non ci sono regole che valgano per tutti. Niente come la chirurgia, e la neurochirurgia in particolare, è legato a fattori imponderabili, non standardizzabili. E molto spesso, dopo aver affrontato tutte le sfaccettature tecniche e scientifiche, la decisione viene presa dal chirurgo sulla base della sua esperienza, basandosi sui tanti casi operati fino ad allora, su un suo intimo convincimento di cosa sia giusto fare, sulla sua certezza che l'approccio scelto abbia buone probabilità di dare un risultato positivo.

E anche questa volta, alla fine, dopo aver vagliato tutto, dovetti essere io a prendere la decisione. Pensando ad Antonella, alla sua giovane vita stravolta dalla malattia, alla fiducia che aveva riposto in me, guardando la copia della tesi di maturità che mi aveva portato in regalo, ripensando a come mi aveva parlato del suo desiderio di andare all'università, pensai che noi medici abbiamo il dovere di fare tutto ciò che pensiamo sia tecnicamente possibile, senza paura. Convocai i genitori e dissi loro che ritenevo che l'intervento si potesse fare. Sarebbe stato molto difficile, complesso, ci sarebbero stati tanti rischi perché l'ipotalamo è una delle strutture più delicate e fragili del nostro cervello, probabilmente avremmo dovuto affrontare un decorso postoperatorio drammatico, ma mi ero trovato tante volte in quelle situazioni e sapevo che se ne poteva uscire. Da tanti anni operavo pazienti con voluminosi tumori in quella regione, a volte molto più semplici, come gli adenomi ipofisari, ma talvolta anche più complessi, come i craniofaringiomi a sviluppo ipotalamico. Conoscevo le tempeste metaboliche e ormonali che questi tumori potevano provocare e sapevo che, con l'aiuto dei nostri straordinari rianimatori, dei nostri bravissimi endocrinologi e degli infermieri che danno a noi e ai pazienti un validissimo aiuto, le avremmo superate. Ce la possiamo fare, pensavo.

Questa volta però il tumore era diverso, non comprimeva dall'esterno le strutture ipotalamiche, nasceva al loro stesso interno. La sua asportazione avrebbe comportato necessariamente un trauma lacerante. Come avrebbe reagito il corpo di Antonella? Ce l'avrebbe fatta a superare lo stravolgimento al quale il suo organismo sarebbe andato incontro? Il suo cervello sarebbe stato in grado di riprendersi? Ancora una volta a queste domande risposi che si poteva fare, e che si doveva fare!

Era la sola possibilità per Antonella di andare avanti nella vita e di realizzare i suoi sogni. Non potevamo assistere impotenti alla progressione di un tumore che l'avrebbe uccisa. L'ipotesi su cui basavamo il nostro convincimento era che il tumore avesse soltanto impresso una grave ferita all'ipotalamo, spostando e magari mettendo fuori funzione i suoi nuclei, ma che, se fossimo riusciti a toglierlo, lentamente quei nuclei avrebbero ripreso a funzionare.

Questa volta fu fatta una craniotomia, cioè un'apertura della scatola cranica, nella regione frontale destra. Sapevamo dalla risonanza

magnetica che il tumore, provenendo dal basso, spingeva verso l'alto il pavimento del ventricolo. Utilizzando il microscopio per avere un ingrandimento e una migliore illuminazione, seguimmo il decorso del catetere messo nel precedente intervento e raggiungemmo il ventricolo. Fu facile evidenziare, attraverso il liquor che riempiva la cavità, la salienza data dal tumore. La prima parte dell'intervento era fatta, avevamo raggiunto facilmente la massa da rimuovere. Adesso cominciava la parte più difficile, bisognava cominciare a lavorare in una zona minata. Ci trovavamo molto profondi, a circa sei centimetri dalla superficie corticale; il tumore partiva da lì e si estendeva ancora più in profondità, per almeno altri quattro centimetri. Stavamo lavorando attraversando tutto il cervello, dal vertice alla base. Lentamente, con il microscopio, l'aspiratore a ultrasuoni, l'elettrobisturi e i tanti strumenti della microchirurgia, riuscimmo a rimuovere fino all'ultimo frammento di tumore, lasciando un vuoto che dalla volta cranica ci permetteva di vedere l'arteria basilare, localizzata dall'altra parte del cranio. Eravamo quasi spaventati dall'enormità dell'approccio.

Mentre rimettevamo la calotta cranica e ci accingevamo a chiudere, pur essendo andato tutto bene dal punto di vista tecnico, in sala operatoria regnava un preoccupato silenzio. E ne avevamo motivo.

Il risveglio di Antonella fu molto complesso e richiese parecchi giorni. Fu difficilissimo mantenere a valori alti la pressione arteriosa, la concentrazione degli elettroliti nel sangue (sodio, potassio e calcio) saltava da valori alti a valori troppo bassi, richiedendo correzioni continue. Quando Antonella cominciò a svegliarsi capimmo che aveva totalmente perso il senso della sete per cui, pur urinando moltissimo per la sofferenza ipofisaria, non riusciva a mantenere l'equilibrio dei liquidi e dei sali del sangue. Ed era un grosso problema. Inoltre, cosa ancora più grave, il centro termoregolatore del suo cervello sembrava non funzionare più; pur non rilevandosi alcuna infezione, la temperatura corporea rimase al di sopra di 40 gradi per settimane, per cui dovemmo tenerla sommersa dal ghiaccio. In un'epoca di progresso tecnologico straordinario, vedere Antonella curata con il ghiaccio ci portava indietro al tempo della chirurgia di decenni prima.

Fu grazie all'abnegazione dei miei assistenti, degli infermieri, dei rianimatori, degli endocrinologi attenti a correggere istante per istante ciò che il corpo di Antonella non riusciva a fare che lentamente, dopo

settimane vissute da tutti noi con grande angoscia, Antonella cominciò a mostrare la ripresa di alcune funzioni. Il suo ipotalamo, dopo un disastroso black-out, stava ritornando a lavorare bene. Era come una fragile barca che, dopo giorni in preda a una violenta tempesta, si avvicinava lentamente a mari più tranquilli. Con sgomento, a mano a mano che Antonella si svegliava, notavamo che le sue funzioni cognitive risentivano di quel corpo squassato. Fu necessario un intero anno di adattamento progressivo alla nuova situazione e di continui controlli ormonali, elettrolitici, di osmolarità plasmatica, ma alla fine il suo organismo cominciò a ritrovare l'equilibrio che l'intervento e la malattia avevano alterato.

Sono passati due anni da quando Antonella è stata operata. Proprio oggi, mentre sono quasi alla fine della realizzazione di questo libro, è passata a trovarmi con due bellissime notizie. La prima, commovente, è che ha dato due esami all'università, un 30 e un 27; la seconda, ancora più bella, la porta in mano, è una risonanza magnetica che ci dice che il suo tumore, che si era confermato essere benigno, non c'è più.

Antonella è guarita e avrà un futuro. La decisione, presa con angoscia e sofferenza, si è rivelata giusta.

Il modo di funzionare del cervello è molto complesso ed è la parte più affascinante del mistero della vita. Il suo studio è insieme avventura, viaggio, scoperta, contemplazione; è sconfinata dichiarazione d'amore verso Colui che ci ha creati. Di alcune delle tante complesse, interessanti e, a volte, bizzarre regole che ne controllano la formazione e l'attività, abbiamo già parlato. Adesso vorrei affrontare altri aspetti.

Una caratteristica del nostro cervello è che è rapido, ma non troppo. Se confrontiamo il suo modo di operare con la realtà dominata da velocissimi computer vediamo che i tempi di elaborazione e trasmissione dell'informazione di questi ultimi possono essere milioni di volte più rapidi di quelli cerebrali. Tuttavia il prodotto dell'attività del nostro computer mentale, il pensiero, la ragione, la mente, è talmente straordinario da suscitare meraviglia.

Una delle cose per me più sconvolgenti è che della maggior parte delle attività cerebrali non abbiamo una diretta consapevolezza. In ogni istante riteniamo di sapere cosa stia avvenendo nel nostro cervello e quali pensieri occupino la nostra mente, ma in realtà la mente non

funziona così. Si calcola che ben il 95 per cento delle attività cerebrali quotidiane si svolga nell'inconscio. Dei quasi 100 milioni di neuroni, dei 100mila miliardi di connessioni, la nostra coscienza controlla solo il 5 per cento; la maggior parte del lavoro è occulto, celato a noi stessi. Momento dopo momento, le tante strutture che costituiscono il nostro cervello si scambiano milioni di miliardi di segnali. Molti di questi attivano funzioni che sono essenziali per la nostra sopravvivenza, quali il controllo del respiro o del battito del cuore, il controllo della diuresi e la concentrazione degli elettroliti nel sangue, oppure quelle che regolano l'alternarsi del sonno e della veglia, la temperatura del nostro corpo eccetera. Eppure, solo una piccola parte della vasta e complessa quantità di queste informazioni raggiunge un livello di consapevolezza, interessa cioè la corteccia prefrontale. Anche molto lavoro mentale che produce impressioni, intuizioni e molte decisioni avviene nel silenzio del cervello.

«Non so perché sono così triste» fa dire Shakespeare a uno sconsolato Antonio all'inizio del *Mercante di Venezia*.

Questo, in un certo senso, libera la mente da una valanga di elaborazioni e informazioni che rimangono subcoscienti e che altrimenti, benché importanti, finirebbero per sommergerla. Inoltre, non fa altro che assicurare un risultato di estrema importanza per il cervello, e cioè ottenere il massimo del rendimento con il minimo di spesa energetica. Qualunque elaborazione di informazioni, infatti, comporta un dispendio di energia e il nostro cervello è molto attento a non consumarne in eccesso. Lo spreco di energia è un lusso che il cervello non può permettersi, e per questo tenta di risparmiare utilizzando tutte le scorciatoie possibili a sua disposizione. E questo ci porta alla complessa organizzazione del pensiero.

Nell'ambito della complessa attività che si svolge nel nostro cervello quando pensiamo e di cui ci serviamo per valutare le informazioni e prendere decisioni, possiamo sostanzialmente individuare due modalità fondamentali: da una parte il *fast thinking*, l'intuito, il *pensiero veloce*, quello che opera in fretta e automaticamente, con poco o nessuno sforzo e nessun controllo volontario; dall'altra lo *slow thinking*, la logica, la scelta meditata che richiede un *pensiero lento*, quello delle attività mentali impegnative che coinvolgono un ragionamento cosciente. Il

cervello, in altre parole, a seconda delle situazioni e delle decisioni che è chiamato a prendere, può farsi lepre o tartaruga. La definizione di questi differenti modi di funzionare del pensiero portò, nel 2002, lo psicologo Daniel Kahneman a vincere il premio Nobel per l'Economia.

Il pensiero veloce, basato su scorciatoie mentali, si attiva quando avere una risposta rapida è essenziale. In pratica, una situazione particolarmente grave e pericolosa attiva il sistema emozionale (limbico), in particolare l'amigdala, e invia un segnale d'allarme che richiede una risposta immediata per far fronte rapidamente ai pericoli che ci minacciano. Per questo le emozioni determinano decisioni rapidissime, istintive, proprie del pensiero veloce. «Le emozioni non sono sentimenti, ma una serie di meccanismi di sopravvivenza evoluti per permetterci di evitare il pericolo» scrive Rita Carter in *Mapping the Mind.* Un'altra situazione in cui si attiva il pensiero rapido si ha quando, davanti a valutazioni complesse e ricche di molti dati, la mente utilizza scorciatoie mentali e risponde rapidamente in modo intuitivo, evitando complicate analisi.

Il pensiero razionale e lento, al contrario, nel prendere le sue decisioni vaglia tutte le diverse informazioni che provengono dai sensi e attiva meccanismi complessi che coinvolgono la memoria, l'attenzione, la volontà, in una parola il sistema nervoso nelle sue proprietà cognitive più sviluppate, la mente. Le sue conclusioni, frutto di un complesso ragionamento, richiedono sempre parecchi secondi, troppi se dovessimo reagire a una situazione di pericolo o analizzare una valanga di dati. Il pensiero lento permette di considerare costi e benefici, è pigro, riflessivo, basato su un attento uso di regole logiche. La sua lentezza, necessaria alla dialettica del confronto, è alla base della razionalità; è il pensiero più affidabile di cui l'uomo possa disporre. Purtroppo, a differenza del pensiero rapido, da un punto di vista cognitivo ed energetico è molto dispendioso.

Come sappiamo, il sistema nervoso consuma più glucosio di quasi tutte le altre parti del corpo e l'attività mentale impegnativa pare sia particolarmente costosa in termini di glucosio utilizzato e di energia spesa. Quando si è attivamente coinvolti in difficili ragionamenti cognitivi, il livello di glucosio nel sangue cala. L'effetto è analogo a quello di un corridore che durante uno scatto consuma parecchio del glucosio immagazzinato nei muscoli. Privilegiando il pensiero rapido e

seguendo scorciatoie mentali, il cervello lavora con un consumo meno costoso che con il pensiero riflessivo.

Il nostro cervello, inoltre, è abbastanza pigro e predilige azioni di minimo sforzo, ricorrendo alla logica stringente solo quando non ne può fare a meno. In sostanza si affida ogni volta che può a giudizi intuitivi che occupano una posizione intermedia tra le operazioni automatiche della percezione e quelle meditate del ragionamento. Noi tendiamo ad avvalerci per natura del pensiero rapido nel maggior numero possibile di casi, e comunque come prima risorsa, generando talvolta errori e imprecisioni.

Se vogliamo sintetizzare, il primo pensiero è veloce, automatico, privo di sforzo e difficile da modificare, mentre il secondo è lento, controllato, faticoso e governato da regole, ma al contempo flessibile.

Pensiero rapido e pensiero lento non sono totalmente alternativi l'uno all'altro; rappresentano entrambi funzioni importanti e complementari per il comportamento dell'uomo. Nella nostra testa, in pratica, si coniugano sapientemente la lentezza e la rapidità, la nostra personalità analogica con quella digitale, senza che una si opponga all'altra, ma facendo sì che si supportino reciprocamente.

La maggior parte delle decisioni viene presa dal cervello emotivo e nella maggior parte dei casi il cervello razionale si limita a ratificare tali scelte o a trovare un motivo logico per spiegare la decisione presa in modo viscerale. In genere la pura razionalità non esiste o, meglio, interviene soltanto dopo che l'intuito ha detto la sua tamponando l'emergenza.

Nella realtà che stiamo vivendo, in cui tutto è rapido, può mancare l'allenamento alla lentezza ragionata che stabilisce priorità e fissa obiettivi di lungo termine; ci sembra di non essere più abituati ad andare lentamente. Ma quando il sistema veloce non riesce a processare le informazioni, oppure quando quest'ultimo può portare all'errore, allora il pensiero lento, razionale, interviene e corregge il pensiero veloce. L'equilibrio, come sempre, deve stare nel mezzo, nel prendere ciò che di buono sa apportare l'innovazione tecnologica, pur mantenendo i valori senza tempo.

Di quale pensiero dobbiamo fidarci, di quello rapido o di quello lento? Di solito siamo portati istintivamente (ancora scorciatoie mentali!) a

identificarci con il sistema razionale e a ritenere che le decisioni giuste siano quelle ponderate a lungo. In realtà, il protagonista delle nostre scelte è spesso l'altro sistema, quello automatico, veloce. Come hanno scoperto gli scienziati che studiano i processi decisionali, seguire l'istinto è importante; anche perché la maggior parte dei nostri giudizi e delle nostre azioni nate così appaiono appropriate.

Si è scoperto, inoltre, che l'istinto non è fatto di sola emotività, ma utilizza un altro tipo di pensiero, molto più veloce e spesso più efficiente del ragionamento logico; grazie a esso il cervello, quando non ha tempo per avviare un pensiero razionale, rapidamente e intuitivamente sceglie tra le tante possibilità accumulate nella mente, tra le soluzioni proposte dall'esperienza. In altre parole, il cervello veloce, per affrontare la maggior parte dei problemi che abbiamo e per giungere a decisioni rapide, sceglie scorciatoie mentali che sono il risultato non del caso, ma dell'elaborazione di esperienze già da noi vissute in precedenza. Se si aggiunge la considerazione banale sul numero di decisioni complesse che l'individuo deve prendere oggigiorno, appare evidente come l'uso di tali scorciatoie possa essere indispensabile.

Il mondo on-line ha dato accesso a una sterminata quantità di informazioni, ma allo stesso tempo ha creato il problema di come selezionare ciò che è rilevante e utile per ciascuno.

Uno dei condizionamenti più forti ai quali siamo sottoposti è la necessità (vera o presunta) di agire in fretta. È un'eredità che ci portiamo dal passato, quando un ritardo nelle decisioni poteva costare la vita, e che ci spinge a saltare alle conclusioni quando ancora non abbiamo tutte le informazioni essenziali. È necessario considerare che l'ultima volta che il nostro cervello è stato geneticamente modificato risale più o meno a 150mila anni fa, in un ambiente in cui la nostra logica, un po' imperfetta, andava più che bene.

Molte illusioni ottiche si basano proprio su questo meccanismo: in questi casi il cervello riceve dagli occhi uno stimolo incompleto e rapidamente tende a ricostruire ciò che manca per formare un'immagine coerente. Il cervello non ama restare nell'incertezza, deve scegliere e fa quel che può. Non di rado invece è l'eccesso di informazioni a confonderci, perché la nostra mente non è in grado di processare molti stimoli in contemporanea. Quando questo accade, il cervello decide di ignorarne

alcuni. Ma non è affatto detto che a passare sotto silenzio siano quelli che contano meno.

Nella maggior parte dei casi queste regole funzionano bene, nel senso che riescono a farci prendere decisioni rapidamente e non creano problemi. Tuttavia, in alcune circostanze, il pensiero rapido, affascinante e coinvolgente, può essere causa di errori di giudizio e fonte di decisioni sbagliate. In tali casi siamo inconsciamente vittime di distorsioni cognitive perché la necessità di risolvere rapidamente situazioni complesse o gravi può spingerci verso «scorciatoie mentali» ingannevoli, basate esclusivamente sulle nostre sensazioni ed emozioni. Quando ci accorgiamo che la ricerca spontanea di una soluzione intuitiva fallisce, allora è necessario passare alla forma di pensiero più riflessiva e impegnativa, al pensiero lento.

Ritornando al dilemma scorciatoie mentali/analisi rigorosa, bisogna dire che entrambe le vie sono possibili e rispondono a due modi diversi di funzionare del nostro cervello.

L'intuito, ovvero la capacità subliminale di prendere decisioni istantanee anche senza disporre di troppe informazioni, è oggettivamente una straordinaria risorsa. Soprattutto quando occorre prendere una decisione rapida e non c'è tempo per il pensiero lento e riflessivo. Tuttavia è anche vero che una scelta di pancia può essere spesso indotta da un pregiudizio cognitivo mascherato da intuizione, che rischia di svelarsi del tutto sbagliata. Uno dei pregiudizi possibili è credere che, se l'intuizione ha funzionato una volta, funzionerà anche alla prossima occasione.

Il meglio che possiamo fare è giungere a un compromesso: imparare a riconoscere le situazioni in cui è probabile che si verifichino errori e impegnarci maggiormente per evitare grossi sbagli quando la posta in gioco è alta. In condizioni normali, più la decisione è importante e meglio è pensarci sopra.

Si potrebbe fantasticare che Achille utilizzasse il pensiero rapido e Ulisse, il calcolatore, il pensiero lento. Però, chi studia i meccanismi che governano le decisioni, dice che nessuna scelta è solamente razionale e ponderata. L'uomo, anche il più razionale, può solo selezionare opzioni per lui soddisfacenti ma non pienamente razionali, come per esempio farebbe un computer; perché il nostro mondo interiore è dominato

dall'irrazionalità, frutto dell'enorme prevalenza del mondo delle passioni su quello della ragione. Molti neuropsicologi affermano che nessun atto decisionale sarebbe possibile se non supportato da un intervento emozionale.

In altre parole, emozione e sentimento sono indispensabili per la razionalità e quindi, nel costruirsi della ragione, cooperano sia le regioni cerebrali di livello alto sia quelle di livello basso.

Sappiamo che vi sono altre forme di attività mentale veloce. Una di queste è quella delle attività mentali completamente automatiche, della percezione e della memoria, le operazioni che ci permettono di sapere immediatamente che la fotografia che è sul nostro tavolo è quella di nostra madre o di ricordarci il nome della capitale della Francia.

In altri casi, la mente funziona velocemente perché nei suoi circuiti si sono creati degli automatismi, come quando si va in bicicletta o si guida un'auto. Ci riusciamo bene proprio perché non ce ne rendiamo più conto. Se dovessimo pensare a ogni singola azione necessaria alla guida e decidere se compierla o no, ci muoveremmo come lumache. Ma perché la mente possa agire in modo automatico bisogna allenarsi bene; solo allora la memoria conserva il vasto repertorio di abilità che abbiamo acquisito in una vita di pratica, e automaticamente produce soluzioni adeguate alle sfide che via via si presentano. Tutto ciò porta a un vantaggio fondamentale per il cervello: quando si diventa esperti in un compito particolare e l'esecuzione di quel compito si automatizza (*abilità procedurale o memoria procedurale)* la quantità di energia richiesta per la sua esecuzione diminuisce drasticamente.

Il cervello, insomma, per risparmiare energia e dare risposte rapide, utilizza in continuazione scorciatoie mentali.

Un esempio divertente di scorciatoie mentali è rappresentato dal fatto che la mente non legge le parole interamente, e mai una lettera dopo l'altra. Usa schemi già definiti per le parole, per non perdere tempo. Per la mente, ciò che conta è il significato del messaggio, non come è scritto.

«Sneocdo uno sdtiuo dlel'Untisverià di Cadmbrige, non irmptoa cmoe snoo sctrite le plaroe, tutte le lettree posnsoo esesre al pstoo sbgalaito, è ipmtortane sloo che la prmia e l'umltia saino al ptoso gtsiuo, il rsteo non ctona.

Il cerlvleo è comquune semrpe in gdrao di decraifre ttuto qtueso

coas, pcherè non lgege ongi silngoa ltetrea, ma lgege la palroa nel suo insmiee.»

Un'altra scorciatoia mentale è quella che porta la mente a selezionare le informazioni che riceviamo in modo che corrispondano alle nostre convinzioni.

Volendo riassumere il modo di lavorare del nostro sistema nervoso, possiamo immaginare quattro modalità differenti. A ognuna corrispondono diverse modalità e velocità di relazione tra percezione e azione e diverse modalità di coinvolgimento dei centri superiori:

a) Reazioni riflesse, non mediate da processi cognitivi: si pensi a una mano che a contatto con il fuoco venga istantaneamente ritratta; si tratta di un'azione automatica, mediata interamente da circuiti localizzati nel midollo spinale; non richiede il coinvolgimento della corteccia cerebrale né può da questa essere inibita.

b) Automatismi: reazioni o movimenti automatici, che non coinvolgono direttamente la volontà e la coscienza, ma presuppongono una fase razionale di apprendimento, una precedente conoscenza dei fatti, un coinvolgimento della memoria. Vedo qualcosa che mi fa paura e automaticamente e immediatamente reagisco perché ho una conoscenza di ciò che di negativo potrà succedere. Oppure guido una bici, sterzo in curva, freno se un pedone mi attraversa la strada, senza il bisogno di mettere in moto i processi decisionali superiori perché sono cose già imparate in precedenza e che richiedono risposte rapide.

c) Decisioni per intuito, *pensiero rapido*: alla base c'è l'intelligenza rapida che si basa sulle esperienze emotive passate, su associazioni e immagini mentali già elaborate. Bisogna decidere su una cosa nuova ma non abbiamo il tempo di inserire il comando razionale, quello complesso, e non possiamo permetterci di analizzare razionalmente tutte le alternative possibili; inoltre, dobbiamo risparmiare energia. Spesso la nostra mente deve essere veloce nel valutare e capace di decisioni tempestive, piuttosto che logicamente ineccepibili. Il cervello si è formato per dare risposte rapide a situazioni pericolose, non per essere logico.

Nell'interagire con gli altri, in situazioni in cui si debbono prendere decisioni rapide, diventa fondamentale anche la lettura del comportamento altrui. Questa capacità è attivata dalla presenza dei

neuroni specchio grazie ai quali acquisiamo una comprensione automatica, immediata e diretta delle azioni e delle emozioni di chi abbiamo di fronte.

d) Decisioni coscienti e consapevoli, *pensiero lento*. Vengono analizzate tutte le carte in gioco e le alternative possibili, attingendo alla memoria e riferendo tutto alla regione prefrontale, dove viene valutata la decisione finale da prendere.

Ma che cos'è esattamente un pensiero? Non ha un peso. Appare effimero e ineffabile. Non si crederebbe mai che abbia forma, o odore, o si sostanzi in qualsivoglia modo. I pensieri sembrano una sorta di portentosa magia. Direbbe Falstaff che nel pensiero «c'è dell'aria che vola». Certamente i pensieri sono il risultato più sorprendente e ineludibile dell'attività incessante di quel chilo e mezzo di materia che costituisce il nostro organo più straordinario.

# 11
# La magia della memoria

*I campi di grano non mi ricordano nulla. E questo è triste! Ma tu hai dei capelli color dell'oro – disse la volpe – allora sarà meraviglioso quando mi avrai addomesticata. Il grano che è dorato mi farà pensare a te. E amerò il rumore del vento nel grano…*

Antoine de Saint-Exupéry, *Il Piccolo Principe*

È una bella notte d'estate, c'è una festa in campagna. Un ragazzo e una ragazza si allontanano dal gruppo. L'aria è tiepida, una luna splendente illumina la valle, una grande magnolia disegna il suo profilo contro il chiarore del cielo che accende grandi fiori bianchi tra le sue foglie. I ragazzi da tempo si corteggiano, ma quella sera, ballando, si sono guardati in un modo diverso. Dentro le loro teste molte fibre partenti dagli occhi hanno segnalato alla corteccia visiva la perfezione delle linee dei loro visi, coinvolgendoli in un sentimento di gioia che ha attivato l'amigdala e aumentato la loro emotività. Scariche di dopamina e ossitocina, i neurotrasmettitori del piacere e dell'innamoramento, hanno

inondato le sinapsi; e la corteccia prefrontale, che cercava di resistere ai loro desideri, ha cominciato a cedere. Nel frattempo, l'ippocampo, porta della memoria, ha fissato tutto intensamente, perché intenso era il coinvolgimento emotivo dei due giovani.

Uno accanto all'altra, in quella notte magica, guardano attoniti la meraviglia della luna d'argento, mentre il profumo della magnolia lentamente li avvolge. Il canto delle cicale e il fruscio del vento tra le foglie completano la magia di quel momento.

«Dov'è la strada per le stelle?» avrebbe cantato Lucio Dalla.

In silenzio l'ippocampo riceve tutto e spedisce le diverse sensazioni, sotto forma di catene sinaptiche, alle zone deputate alla loro conservazione, nelle sedi delle memorie fisse, come libri negli scaffali, diversi a seconda delle diverse sensazioni da conservare: la corteccia occipitale si occupa di conservare la bellezza del cielo e del viso della ragazza, quella temporale il fruscio del vento e il canto delle cicale, la corteccia olfattiva il tenue, penetrante, dolce profumo della magnolia. E ogni singolo frammento della memoria di quella notte resta connesso agli altri per mezzo di fili che l'ippocampo conserva nelle sue reti, per raccoglierli al momento giusto, se mai ce ne sarà bisogno. In quel momento di magica perfezione il ragazzo si china sulla ragazza e la bacia, e lei, languida, lascia che lui la baci: è il loro primo bacio!

Molti anni sono passati, la vita ha portato i ragazzi su strade diverse e quasi hanno dimenticato l'incanto di quegli attimi. Un giorno, in momenti diversi e in punti lontani del mondo, entrambi per caso si trovano immersi in un profumo di magnolia in una notte di luna piena. In entrambi quell'odore attiva e percorre le fibre olfattive, coinvolge l'amigdala e rinnova emozioni da tempo sopite. L'ippocampo, colpito dall'intensità di quei fremiti, si ricorda della magia di quella notte lontana, i cui fili erano rimasti così fortemente avvolti nelle sue reti, e subito riaccende nelle diverse aree corticali che le avevano conservate i neuroni che ne avevano fissato i ricordi. E all'improvviso, dopo tanto tempo, partendo da un profumo di magnolia, tutto torna alla mente: lo scintillare della luna, il fruscio del vento e, soprattutto, l'emozione di quel primo bacio, quasi dimenticata, ma ora così intensa da provocare in ognuno un tuffo al cuore. E la memoria riporta alla mente di entrambi il ricordo di una notte incantata, di un viso ormai lontano, colorando di nostalgia le emozioni di una notte felice.

Sono molte le cose che passano, ma alcune lasciano il segno nel cuore e nella memoria.

La memoria, che ci permette di avere ricordi dei fatti del nostro passato, è da considerarsi tra le manifestazioni più elevate del cervello umano e tra le più importanti della nostra vita; facoltà straordinaria, tra le più fantastiche che abbiamo, strettamente legata alla coscienza.

Siamo fatti delle nostre memorie, cioè di situazioni, persone e cose che si sono depositate nelle nostre cellule cerebrali fin dalla più giovane età. Ciò che noi siamo adesso, in questo momento, è un insieme di ricordi che producono un'esperienza unica e irripetibile e che ci fanno sentire noi stessi. Di fronte a tutti i cambiamenti che caratterizzano la nostra esistenza, la memoria è il filo di Arianna che ci fornisce continuamente la corretta percezione della nostra identità e tiene insieme il fluire della nostra vita nel tempo. Senza la memoria, la nostra stessa soggettività non esisterebbe più, perché i ricordi sono i mattoni con cui negli anni edifichiamo la nostra narrativa personale. Siamo ciò che ricordiamo di essere. Senza ricordi, saremmo perduti. La memoria consente alla nostra mente di vagare, le fornisce il materiale che nutre la sua immaginazione e la fa fantasticare. La memoria è ciò che ci permette di tramandare il nostro sapere e la nostra cultura. Tutta la conoscenza è memoria.

La memoria è ciò che ci permette di ricordare il passato e di programmare il futuro, come succede al tolstojano principe Andrej al momento di andare in guerra contro Napoleone: «Al momento della partenza, a una svolta della propria vita, ogni uomo capace di riflessione si abbandona a pensieri gravi e seri: ricorda e giudica il proprio passato, traccia i piani per l'avvenire».

In altre parole, si potrebbe dire che noi siamo la nostra memoria e che la memoria è il collante che tiene insieme le storie della nostra mente.

Di certo, una delle maggiori disgrazie che possano toccare all'uomo è lo sprofondare della sua mente nell'oblio.

Diceva Luis Buñuel: «Si deve incominciare a perdere la memoria, anche solo a brandelli di ricordi, per capire che in essa consiste la nostra vita».

«A che serve il passare dei giorni se non si ricordano?» scriveva

Cesare Pavese.

Il termine memoria viene usato con estrema frequenza e con significati diversi a seconda dei contesti. Sentiamo ripetere, costantemente, quanto sia importante rispettare il culto foscoliano della memoria, quanto sia importante per la società tutta non dimenticare fatti come l'assassinio di Falcone e Borsellino, quanto sia importante non dimenticare i milioni di morti della Grande Guerra o i milioni di morti della Shoah, quanto sia importante non dimenticare le vittime dei terrorismi di tutti i tempi.

La memoria è percepita non solo come processo del pensiero, serbatoio di informazioni utili a dare un senso ai momenti della nostra vita quotidiana, ma anche come elemento essenziale per il progredire della coscienza civile di una nazione, oltre che dell'individuo stesso, attribuendo, in questo modo, alla memoria una funzione fondamentale nella costruzione di una società civile. La memoria consente una meditazione sulle vicende umane che si sono dipanate nel corso del tempo, in modo da evitare che le vicende infami di ieri possano diventare le vicende infami di oggi. Diceva il filosofo spagnolo George Santayana che chi dimentica il passato è condannato a ripeterlo.

La memoria è fatta anche di «cose» che la preservano e la ravvivano. L'hanno capito bene i fanatici islamici che si sono accaniti contro le reliquie della loro stessa civiltà per eliminare la continuità e la tenacia della memoria; hanno capito che l'arte, col potente mezzo delle immagini, narra la memoria collettiva degli uomini, della loro storia, delle emozioni, delle paure e delle speranze che gli artisti hanno trasferito nella sequenza delle colonne di un tempio, sui muri delle grotte, o sulle pareti delle chiese.

Tra «le cose della memoria» un valore rilevante lo acquisiscono i libri, con le biblioteche in cui essi sono conservati, «i granai pubblici dove si ammassano le riserve dello spirito», come le definiva Marguerite Yourcenar; e il libro, nascosto in qualche biblioteca, è il luogo dove il racconto dei fatti permette di ricostruire la memoria del mondo.

E così, come in una biblioteca noi riempiamo gli scaffali vuoti con tanti libri, anche nel nostro cervello incameriamo sempre nuovi ricordi. E i ricordi, come i libri, stanno lì, al loro posto, indisturbati, fino a quando qualcosa o qualcuno ce li richiama alla mente.

Per capire quanto la memoria sia importante per ognuno di noi, immaginiamo che sia possibile trasferire le memorie di una persona nel cervello di un'altra. Dopo un trapianto di questo tipo, saremmo ancora noi? La risposta più logica è no, ognuno di noi diventerebbe un altro, con i ricordi di un'altra infanzia e di un'altra adolescenza, con una trama di fatti che hanno caratterizzato un'altra storia.

Sembra di parlare di un film di fantascienza, ma in alcuni laboratori si è cominciato a fare qualcosa che ci si avvicina. Gli scienziati sono riusciti a registrare in forma digitale in un computer il ricordo creato nel cervello di un topo: potrebbe essere l'inizio di un cammino per inserire un ricordo nel cervello. Altri scienziati sono riusciti a impiantare nel cervello di un topo non solo ricordi ma anche memorie fasulle, usando una tecnica chiamata *optogenetica,* che permette di attivare un gruppo di neuroni semplicemente «illuminandolo».

Ciò vuol dire che in futuro, forse, saremo in grado di caricare nel nostro cervello il ricordo di eventi mai verificatisi? Immaginiamo l'enorme impatto che questo potrebbe avere sui sistemi educativi, oppure nella cura di tutte quelle condizioni patologiche che distruggono la memoria. Se consideriamo che oggi, nel mondo, i malati di Alzheimer sono oltre 26 milioni e che il loro numero crescerà progressivamente, si capisce l'importanza di tutte le ricerche scientifiche in questo campo.

Molto spesso sono i danni che avvengono al cervello a farci capire da dove nascono alcune funzioni neurologiche coinvolte nel meccanismo della memoria.

Anni fa ho operato un paziente rimuovendo un tumore dalla parte interna del suo lobo temporale destro, area in cui si trova uno dei due ippocampi. Dopo un anno il paziente sviluppò un tumore analogo nell'area dell'ippocampo controlaterale e dovemmo di nuovo operarlo. Entrambi gli interventi andarono bene, ma sebbene la sua memoria a breve termine (la capacità di conservare i ricordi per secondi o minuti) fosse rimasta più o meno intatta, dopo il secondo intervento quel paziente perse la capacità di creare ricordi a lungo termine. La malattia lo aveva lasciato senza la possibilità di fissare nella mente per più di qualche secondo le cose che gli succedevano, le persone che incontrava, i sentimenti che provava, i dolori e le gioie, tutte cose che svanivano presto come la nebbiolina al sole; lo aveva lasciato prigioniero del

presente, senza più la possibilità di costruirsi un passato. Quest'uomo doveva ogni mattina imparare dalla moglie tutto di sé: chi fosse, come si chiamasse, come vivesse. Durante il giorno fissava nel proprio cervello le sue esperienze, ma dopo poco tutto veniva ineluttabilmente cancellato.

Molte menomazioni suscitano sentimenti di pena, di dolore o di solidarietà umana per chi le prova, ma poche danno una sensazione di così profonda angoscia come la constatazione di un cervello che ha perso la sua capacità di ricordare, di produrre idee, di essere consapevole di sé.

Da una tragedia come questa gli scienziati ricostruiscono come ciascuno di noi ricorda, dove si situa la memoria, a cosa servono il talamo, l'amigdala, i lobi frontali, i lobi temporali mediali, l'ippocampo, e come fanno le nostre esperienze a tradursi in meccanismi cerebrali. E capiscono come la memoria abbia una specie di crocevia che è l'ippocampo, un nucleo situato nel sistema limbico, al di sotto della corteccia, dove confluiscono moltissime fibre nervose, i tanti fili separati che costituiscono ogni evento di cui siamo coscienti.

Nel sistema limbico, troviamo anche un'altra area molto importante, l'amigdala, coinvolta nell'elaborazione delle emozioni. Gli eventi che colpiscono l'amigdala per il loro contenuto emotivo, s'imprimono nella memoria; noi memorizziamo meglio quando qualcosa ci emoziona. Il rapporto tra amigdala e ippocampo, cioè tra emozione e memoria, si rivela molto stretto.

La funzione dell'ippocampo è duplice: trasformare la memoria a breve termine in memoria permanente e tenere le fila dei nostri ricordi.

Quando viviamo un'esperienza nuova, l'ippocampo la raccoglie e la scompone in frammenti di ricordi, ognuno corrispondente alle diverse stimolazioni sensoriali che la compongono; poi trasmette i frammenti al talamo e da qui alla corteccia, dove vengono depositati in nuove reti neurali, archiviati in aree diverse, a seconda degli stimoli sensoriali che li hanno determinati, sotto forma di nuove connessioni che arricchiscono la nostra straordinaria rete neurale; e sono questi nuovi rami neurali a rappresentare la base fisica della memoria.

Gli scienziati che studiano la memoria si stanno sforzando di capire come riesca poi la mente a ricomporre i tanti frammenti per far riemergere il ricordo di un'esperienza passata; come possa, l'attivazione del «neurone profumo di magnolia», richiamare dai cassetti della mente

tutte le sensazioni coinvolte nell'intera memoria del primo bacio, di cui il profumo di magnolia, insieme a una luna piena e al rumore del vento, è parte.

In definitiva, anche se la memoria ci si presenta come una pellicola sulla quale sono impressi i momenti della nostra vita e il ricordo ci appare come una proiezione della pellicola riavvolta, in realtà faticheremmo a trovare nel cervello lo scaffale della memoria, un luogo in cui i ricordi vengono conservati come in una teca cinematografica. Ogni singola sensazione è memorizzata là dove viene percepita, nella corteccia visiva o in quella olfattiva, a seconda che si memorizzi la vista del mare o un profumo di lavanda. In questo modo ogni percezione diventa un mattone della memoria, pronto a essere utilizzato quando il pensiero vuole ricomporre per intero il ricordo, rimettendo insieme, come in un Lego, tutti i singoli mattoni che formano quel ricordo.

In pratica, quando qualcosa ci richiama alla mente il frammento di un ricordo, si compie un cammino inverso: raccogliendo i fili di tutti i frammenti in un unico luogo, l'ippocampo riesce a recuperare e a tessere insieme, rapidamente, tutti i momenti di quel ricordo, riannodando sensazioni che parevano oramai spente, richiamando così l'evento nella sua interezza. Sono i fili che tessono la trama delle nostre vite, che collegano chi siamo con chi eravamo. Perché, ancora più importante del meccanismo della memoria è il meccanismo del ricordo.

Questo gioco tra ippocampo, talami e corteccia, è descritto in modo straordinario da Giulio Tononi, un neuroscienziato italiano che dirige il *Center for Sleep and Consciousness* dell'Università del Wisconsin, (*PHI. Un viaggio dal cervello all'anima*): «Hai appena visto tua madre in un angolo remoto, dentro una stanza in cui non avevi mai messo piede. L'ippocampo tesserà un nodo tra quella stanza e il suo volto delizioso, e lo conserverà al sicuro nel suo archivio. Così, se un giorno rivedrai la stanza, la stanza tirerà il filo che le è legato nell'ippocampo; e quello, intrecciato com'è con quello legato al bel volto di tua madre, tirerà con sé pure lei. Poi con altrettanti fili che in direzione inversa dall'ippocampo si allargano a ventaglio e raggiungono ogni parte del cervello, i nodi dell'ippocampo richiameranno le loro fonti nella corteccia, e rievocheranno gli eventi che si svolgevano quando si era formato il ricordo».

È quello che succede in sala operatoria quando operiamo un paziente

da sveglio e stimoliamo anche un solo neurone nel suo lobo temporale; quel frammento di ricordo che attiviamo, intrecciato com'è a tanti altri fili corrispondenti ad altri frammenti, fa rivivere nella mente del paziente interi momenti spesso dimenticati della sua vita, ed è quello che poi il paziente ci racconta, meravigliato e confuso.

Le neuroscienze hanno dimostrato che il gusto e l'olfatto sono i sensi più strettamente legati alla capacità di ricordare. Sono gli unici ad avere un collegamento diretto con l'ippocampo. Vista, tatto e udito, invece, vengono prima elaborati dal talamo e hanno meno forza nel richiamare il nostro passato. Questo spiega perché spesso può essere un sapore a far tirare i fili che ci schiuderanno ricordi di un passato che pensavamo dimenticato.

Se Proust non avesse sentito il sapore della «*petite madeleine*», non gli si sarebbe dischiuso alla mente, come per incanto, l'intero mondo della sua infanzia a Combray con la zia Leonie, il cui ricordo era rimasto fissato nel tempo. Ma anche se non avesse mai addentato la «*madeleine*», Combray, assieme a Odette, Swann, Albertine, avrebbe continuato a essere lì, in una nicchia del suo cervello, nascosta nel tempo.

Uno straordinario esempio di questa capacità della nostra mente di contenere e richiamare infinite memorie ognuno di noi può averlo con la musica. È incredibile come le reti neurali riescano a contenere così tante memorie musicali e a ricostruirle quando noi decidiamo di richiamarle alla mente.

Si è appreso di recente che le tracce nervose che fissano i ricordi non rimangono lì inerti e fisse, ma vengono sistemate e organizzate di continuo. Tale fatto può stupire perché il modo che a noi sembrerebbe migliore per conservare intatti i ricordi è quello di fissarli e non toccarli proprio, come facciamo quando attacchiamo le fotografie su un album. Ma non è così. Per conservare i ricordi nella mente in maniera efficace sembra necessario modellarli e rimodellarli in continuazione, a intervalli regolari, anche perché di ricordi se ne accumulano sempre di nuovi e occorre spostare i vecchi per lasciare il posto ai nuovi, cercando di non perderne tanti e di mantenere i più significativi.

A volte ci lamentiamo di avere poca memoria, ma anche ricordare tutto sarebbe un serio impedimento. I fatti e gli eventi quotidiani che

vanno a formare la memoria della nostra vita sono talmente numerosi che, se li ricordassimo tutti per sempre, vivremmo in una confusione ossessiva. La nostra mente sarebbe così intasata che non ci sarebbe spazio per il resto.

Il meccanismo che ci permette di conservare così tanti ricordi senza intasare la mente è peculiare e intriga chi si occupa di Intelligenza Artificiale. Se i ricordi fossero taccuini conservati in un armadio o anche solo file elettronici conservati nella memoria di un hardware, con il passare degli anni tutti avremmo bisogno di un nuovo armadio o di una memoria sempre più grande e, a un certo punto, raggiungeremmo un limite non più superabile. Ma per fortuna nella vita questo non succede: possiamo sempre acquisire nuove nozioni, o il ricordo di nuovi fatti, senza per questo perdere i ricordi della nostra infanzia.

Per far ciò il nostro cervello deve compiere un lavoro continuo e allo stesso tempo della massima precisione. È quello che fa un po' tutte le notti quando riesamina tutto quello che abbiamo imparato o percepito durante il giorno, elimina i dettagli inutili e immagazzina quello che resta, facendo un po' di posto per il nuovo senza perdere il vecchio e, soprattutto, senza perdere le connessioni fra le varie nozioni e i vari vissuti.

Per immagazzinare nuovi dati, sembra che il cervello usi le reti neurali già esistenti, come se avere già molti ricordi permetta di organizzare meglio memorie nuove; come se la disponibilità di una rete neurale ricca permetta di accogliere meglio nuovi elementi da conservare.

Questo è un altro straordinario meccanismo che le macchine ancora non riescono a imitare.

Quando richiamiamo il ricordo di un fatto lontano ci accorgiamo, spesso, che i particolari hanno cominciato a sbiadirsi. Questo succede perché abbiamo un numero finito di neuroni, ognuno dei quali è contemporaneamente coinvolto in diverse mansioni e in reti neurali diverse. È proprio perché i neuroni legati a una memoria sono coinvolti anche nei fatti di altre memorie che il nostro ricordo preesistente diventa meno preciso. Ogni volta che il nostro cervello torna sui fatti passati, talvolta in maniera involontaria, li modifica e li trasforma, come se si trattasse di una nuova rivisitazione di esperienze già vissute, e le cose

spesso nel ricordo sfumano. Così, i ricordi che resistono allo scorrere del tempo mutano incessantemente, poiché ogni volta che vengono richiamati si modificano e rendono malleabili le ramificazioni dendritiche che cercano di fissarli. Qualche volta, poiché la memoria non fissa i ricordi come se fossero una fotografia ma attraverso associazioni, è possibile che non tutti i dati di quel ricordo vengano richiamati e che pertanto l'immagine appaia sfocata. Qualche volta, come se la memoria fosse un film, siamo noi stessi, involontariamente, ad aggiungere dei fotogrammi.

La memoria, evidentemente, non è stata progettata dalla natura per essere una registrazione fedele del passato. Ci fornisce, piuttosto, informazioni, spesso vere ma talvolta imprecise, per costruire delle storie.

Come disse una volta la poetessa americana Marie Howe: «La memoria è un poeta, non uno storico». Ricordare è come raccontare una storia, ogni volta con piccoli particolari diversi.

Il fatto sorprendente è che un ricordo sbiadito a noi non appare tale e lo riviviamo come se l'intero quadro fosse ancora là, assolutamente immutato.

Non sappiamo molto sui processi di memorizzazione, ma sicuramente i possibili meccanismi di selezione e registrazione sono molteplici e non sempre ben definiti. Certamente emozioni e ripetizioni sono due elementi chiave.

L'emozione è ciò che distingue la memoria umana da quella artificiale, ciò che rende la nostra memoria selettiva e non casuale, che la caratterizza rispetto agli archivi digitali che memorizzano tutto ma che non hanno mai un batticuore. Ciò che ci rimane in testa, che sia un libro o un avvenimento o una persona, è lì perché ci ha emozionato, perché nella gerarchia emotiva della nostra mente quel ricordo valeva la pena di mantenerlo.

Le emozioni sono anche il mezzo di cui si serve la natura per valutare le esperienze della vita e per assicurarci la sopravvivenza. La gioia richiama l'attenzione su situazioni utili, mentre la paura e il disgusto ci mettono in guardia dai pericoli. In questo modo, i ricordi, collegati dalla memoria alle emozioni, ci guidano nelle decisioni, spingendoci a ripetere situazioni positive e facendocene evitare altre che

potrebbero costituire per noi una minaccia. È qualcosa che temo, che odio, che mi ferisce, o qualcosa che desidero? A seconda della risposta l'amigdala reagisce immediatamente inviando un messaggio di allerta a tutte le parti del cervello. In questo modo, stimola la secrezione degli ormoni che innescano la reazione di combattimento, fuga o piacere, e attiva il sistema cardiovascolare e muscolare. Se l'amigdala viene lesa, il risultato è l'incapacità di valutare il significato emozionale degli eventi.

Un altro elemento importante nei processi di memorizzazione è la ripetizione. Imparare significa ripetere: se degli stimoli rilevanti si susseguono, le sinapsi delle loro memorie si rafforzano continuamente, diventando più efficienti, come potenziate.

Importante è anche l'effetto facilitante dell'attivazione contemporanea e ripetuta di due cellule o di due reti, come se l'attivazione dell'una facilitasse l'attivazione dell'altra, dando origine a nuove connessioni o rafforzando quelle esistenti. Per esempio, se due concetti, la visione della rosa e il suo nome, stimolano ripetutamente, nello stesso momento, i rispettivi neuroni cerebrali, tali cellule potenzieranno le connessioni tra loro: i neuroni associati alla visione della rosa tenderanno con più facilità a stimolare i neuroni che ne evocano il nome. In questo modo i due ricordi si intrecciano in una trama neurale esclusiva e diventano memoria a lungo termine.

Questi meccanismi di rafforzamento della memoria sono importanti perché i ricordi diventino memorie per il resto della vita. Finché i ricordi sono fragili e recenti, è facile distruggerli; è quello che ci succede con le persone appena conosciute, spesso dimentichiamo i loro nomi, ci distraiamo un attimo e quel ricordo scompare.

Questo ci porta al fenomeno del dimenticare, del non ricordare. Noi non fissiamo nei nostri circuiti neurali, cioè *dimentichiamo*, quei fatti che per noi non sono stati di tale forza emotiva o di tale interesse da attivare l'amigdala e l'ippocampo. E se anche abbiamo fissato dei fatti nella nostra memoria, possiamo *non ricordarli* perché il continuo sovrapporsi di nuove memorie può avere indebolito la loro rete neurale, o perché la forza dello stimolo che dovrebbe farceli rivivere non è stata sufficientemente intensa. È quello che ci succede tutte le volte in cui qualcosa richiama alla nostra mente il ricordo confuso di un'esperienza passata, ma non riusciamo a farla tornare chiara nella nostra mente.

Il cervello seleziona molto tra le tante informazioni che riceve. La maggior parte dei dati che gli giungono dagli organi di senso viene rapidamente cancellata. Solo una parte di essi passa alle diverse aree sensoriali da dove raggiunge la corteccia prefrontale ed entra nella coscienza. Qui si forma quella che definiamo la nostra *memoria a breve termine*, che rimane per un intervallo da pochi secondi a qualche minuto, e sbiadisce quando abbiamo terminato di svolgere l'operazione a cui era riferita (per esempio memorizzare un numero di telefono o un codice prima di trascriverlo su un foglietto).

Come abbiamo già visto, perché siano immagazzinati per un tempo maggiore, i ricordi devono arrivare all'ippocampo che li divide in categorie diverse e, anziché immagazzinarli tutti in una sola area, come fosse un nastro o un hard disk, ne invia i vari frammenti alle specifiche aree corticali. Finora gli scienziati hanno identificato più di 20 categorie di ricordi, immagazzinate in altrettante parti del cervello, e hanno capito che non è la vicinanza dei vari frammenti a legarli gli uni agli altri, ma è piuttosto il momento in cui si sono formati che ne permette un collegamento.

La *memoria a lungo termine* si consolida nel tempo, in particolare grazie al sonno, e può durare per tutta la vita. Una gran parte di questa memoria costituisce la *conoscenza*, il nostro archivio di fatti del mondo, la nostra enciclopedia personale. Contiene le parole che conosciamo, gli oggetti e le persone che abbiamo voluto tenere nella mente, la nostra cultura, ma anche quegli eventi specifici della nostra vita, cioè le memorie essenzialmente personali che costituiscono ciò che rende ciascuno di noi unico.

La memoria funziona in maniera molto più elastica di un hard disk. È come un diario in continua fase di revisione; nel momento stesso in cui registriamo un'esperienza, o un qualsiasi ricordo, lo esponiamo alle possibili modifiche. Ogni volta che rievochiamo un ricordo, lo «aggiorniamo» con informazioni relative al presente, come l'immagine di un amico che non vediamo da tanti anni e di cui abbiamo nella mente un ricordo «passato». Dopo averlo rivisto, la nostra mente aggiorna immediatamente il ricordo, rendendolo attuale. Col passare degli anni perdiamo alcune delle nostre abilità e di tanto in tanto ci sfuggono frammenti di conoscenza che un tempo possedevamo. Naturalmente ne saremo inconsapevoli, proprio perché li abbiamo dimenticati. Ma anche

questo fa parte della vita dell'uomo!

Il procedimento della memoria ruota intorno alla corteccia cerebrale, tuttavia anche il cervelletto, di cui poco abbiamo parlato, gioca un ruolo importante. Il cervelletto è la sede di altre memorie, le cosiddette *memorie procedurali*, quelle relative ad atti motori, come per esempio camminare, nuotare, allacciare i lacci delle scarpe o andare in bicicletta. Si tratta di quelle abilità che si acquisiscono dopo un lungo esercizio e che permettono, senza che la coscienza venga coinvolta, l'esecuzione automatica di movimenti sofisticati e complessi.

Nelle prime fasi dell'apprendimento di una nuova abilità motoria, il cervelletto gioca un ruolo particolarmente importante, coordinando il flusso di movimenti richiesti per raggiungere un'accuratezza e un timing perfetti. A mano a mano che le abilità vengono imparate, esse cadono sotto il livello del controllo cosciente. A quel punto possiamo eseguire il compito automaticamente e senza pensarci. Ciò evita di dover ogni giorno imparare a guidare l'auto o a fare il nodo alla cravatta, ma soprattutto significa liberare altre risorse permettendo al nostro io conscio di dedicarsi ad altre funzioni intellettualmente più importanti.

Per avere un'idea dell'importanza della memoria procedurale nella nostra vita, immaginate cosa succede tutte le volte che, usciti dall'ufficio, mentre guidiamo verso casa, arriva un'importante telefonata di lavoro. Arriviamo a casa senza neanche rendercene conto, senza sapere quanti milioni di impulsi hanno attraversato le nostre reti neurali per permetterci di affrontare le curve e gli ostacoli senza problemi. La vista e il cervello inconscio ci hanno guidati, ma nel frattempo la nostra mente è rimasta libera per permetterci di pensare e di parlare, senza doversi preoccupare anche di coordinare tutti i movimenti necessari alla guida.

Un'altra importante caratteristica della memoria procedurale, e quindi del cervello inconscio, è quella di agire a una velocità non eguagliabile dalla mente conscia. Ho riguardato qualche mese fa l'incontro di finale degli US Open di tennis del 2005, fra André Agassi e un giovane Roger Federer. I servizi di Agassi volavano a velocità altissima, ma Federer, spesso, era in grado di eseguire risposte imprendibili e fare suo il punto. Il servizio dei numeri uno spesso tocca velocità tra i 200 e i 220 chilometri orari; se si è abbastanza vicini, si

sente che la palla in volo fa un vero e proprio rumore, una specie di sibilo dato dalla combinazione di effetto e velocità. Essendoci 23,77 metri tra la linea di fondo di chi serve e quella di chi riceve, la velocità con cui la palla copre quella lunghezza è la velocità di uno sparo, cioè impiega circa 0,41 secondi a raggiungere Federer, meno di quanto ci vuole a battere rapidamente le ciglia due volte; ma rispondere efficacemente al servizio richiede una gamma di decisioni e aggiustamenti fisici enormemente più complessi che battere le ciglia. Per reagire e portare la racchetta in modo giusto sulla palla, il cervello ha solo pochi decimi di secondo. In questo breve tempo deve processare un numero elevato di informazioni: la vista deve segnalare il momento in cui la pallina parte, la sua direzione, altezza e velocità, la presenza o meno di effetto; le sensazioni sulla pelle e la vista di quel che c'è attorno devono trasmettere informazioni su presenza, forza e direzione del vento; la corteccia cerebrale deve informare le gambe sull'entità del piegamento necessario e il braccio su come colpire con precisione e forza; il corpo deve rispondere programmando con esattezza lo spostamento da fare e la sua migliore postura per impattare perfettamente la pallina; il cervelletto deve vigilare perché tutto ciò avvenga con la coordinazione giusta. Se tutto questo si fosse dovuto realizzare mettendo in gioco i circuiti della consapevolezza, Agassi sarebbe già stato pronto per una nuova battuta di servizio e avrebbe già vinto il punto, prima che il cervello di Federer fosse riuscito a definire la migliore risposta possibile. E invece è stato Federer a fare il punto, con una risposta imprendibile, perché il suo cervello, avvisato dagli occhi, ha innestato il pilota automatico e ha risposto utilizzando reazioni fisiche che travalicano il pensiero consapevole. In pratica, gli occhi e la memoria procedurale hanno giocato e la coscienza ha fatto da spettatrice. Il cervelletto ha aiutato Federer a colpire, per dirla con Mario Soldati, «con minor ritardo possibile».

I ricordi immagazzinati nel cervelletto sono i più duraturi, anche perché il cervelletto è meno vulnerabile ai danni degenerativi. Perciò, una volta imparato ad andare sui pattini o a guidare un'auto, non lo si dimentica più.

Anche se è così importante ricordare, nel corso di una lunga vita molte cose le perdiamo. Per dirla con Hugo von Hofmannsthal nel *Cavaliere della Rosa*: «Tutto scivola tra le dita, tutto ciò che cerchiamo

di cogliere si dissolve. Tutto svanisce come nebbia e sogni».

Purtroppo, ricordare e dimenticare, come già l'antica mitologia spiegava, vanno insieme. Pausania racconta che sulle pendici di un monte, tra Attica e Beozia, si trovavano, vicine, le sorgenti di Mnemosine e di Lete. Chi vi passava per interpellare l'oracolo doveva prima bere l'acqua di Lete, per dimenticare, e poi dissetarsi all'acqua di Mnemosine, per ricordare quel che avrebbe udito in seguito.

Ma come tradurre in termini scientifici questo ricordo mitologico? Le conoscenze recenti riguardanti la *neurogenesi*, cioè la creazione di nuovi neuroni, potrebbero darci una risposta. Esse ci dicono che in una zona dell'ippocampo si generano di continuo nuovi neuroni i quali, inserendosi con altrettante sinapsi nei circuiti dell'ippocampo, costituiscono il substrato funzionale e strutturale per l'apprendimento di informazioni più recenti. L'ippocampo, per il suo ruolo nell'immagazzinamento di informazioni, necessita di essere molto plastico; i neuroni neoformati servirebbero a questo, a permettere alla memoria, anche negli adulti, a continuare a espandersi.

A mano a mano che questi nuovi neuroni si integrano nell'ippocampo, entrano in competizione con le cellule già esistenti e stabiliscono nuovi collegamenti che possono coesistere o rimpiazzare connessioni sinaptiche più vecchie. È pertanto il continuo rimodellamento delle connessioni sinaptiche indotta dai neuroni neoformati a determinare sia la memoria di eventi nuovi sia la dimenticanza di ciò che era conservato nelle sinapsi degradate e sostituite.

In condizioni ideali, perché nelle reti dell'ippocampo ci sia equilibrio fra abilità a incorporare nuove informazioni e capacità di mantenere quelle già esistenti, i neuroni neoformati non debbono essere troppi o troppo pochi. Un eccesso di nuovi neuroni, modificando profondamente i circuiti stabiliti in precedenza, impedirebbe la riattivazione di sinapsi formatesi nel momento in cui è stato archiviato un certo evento. Di conseguenza, il richiamo di quel ricordo, spontaneo o volontario, non sarebbe più possibile e l'evento diverrebbe sempre più sfumato, anche se non necessariamente del tutto scomparso dalle reti cerebrali.

Sembra, questa, la spiegazione scientifica di ciò che diceva Platone quando, dopo aver definito la reminiscenza come il ridestarsi di un sapere impresso nell'anima come un sigillo nella cera, interpretava le

deficienze della memoria come cera troppo dura o cera troppo morbida; alcuni hanno dei disturbi perché la loro memoria è troppo dura per essere impressa, altri perché la memoria impressa è facilmente cancellata dalla cera troppo morbida. Solo una cera non troppo dura né troppo morbida può essere impressa e mantenere le informazioni. La nostra identità si basa su un equilibrio delicato tra ciò che riusciamo a dimenticare e ciò che riusciamo a ricordare.

Il motivo per cui ricordiamo poco dei primissimi anni della nostra vita potrebbe essere collegato proprio all'intensa neurogenesi che la caratterizza e alla rapida sostituzione di sinapsi, talmente veloce da non consentire alcuna fissazione nella memoria. Quando, dopo i primi anni di vita, la neurogenesi rallenta, allora la memoria riesce a strutturarsi meglio.

L'amnesia infantile sarebbe dovuta, sostanzialmente, all'immaturità chimica e fisica dei circuiti dell'ippocampo, che nel bambino diventano equilibrati verso la fine del terzo anno di vita. Tuttavia, anche gli eventi che non tornano alla mente sono nondimeno codificati in modo latente nell'ippocampo ancora immaturo e possono lo stesso influenzare i comportamenti futuri. Tutto questo è di estrema importanza per l'educazione dei piccoli; anche se sembrano inconsapevoli, dovrebbero essere sempre protetti da esperienze traumatiche, non solo fisiche ma anche psicologiche. Nel loro ippocampo, anche se non in modo cosciente, questi ricordi rimangono.

Con l'avanzare dell'età, in misura diversa da persona a persona, la neurogenesi rallenta sempre più. L'indebolimento della memoria episodica, quella che ci fa ricordare gli eventi della nostra vita, primo sintomo della senescenza o primo disturbo della demenza nella malattia di Alzheimer, sembra dovuto, almeno in parte, proprio a questo, al rapido rallentamento della neurogenesi nell'ippocampo. E se, come avviene nell'Alzheimer, l'ippocampo comincia ad ammalarsi, allora tutti i ricordi sedimentati nelle diverse aree della corteccia rimangono lì, isolati, senza più possibilità che l'ippocampo li faccia rivivere ancora insieme: la memoria ha dimenticato se stessa!

Le donne hanno in genere una memoria migliore rispetto agli uomini. Innanzitutto perché hanno un ippocampo più grande e poi perché la loro amigdala, organo custode delle emozioni, viene attivata più facilmente

dalle sfumature emotive. E poiché, come abbiamo visto, le emozioni influenzano la memoria, allora possiamo capire perché le donne ottengano risultati superiori, rispetto agli uomini, nei test di memoria e ricordino meglio i dettagli delle loro esperienze di vita, come in una fotografia particolareggiata e tridimensionale.

Con l'età, il cervello maschile si restringe più in fretta di quello femminile, soprattutto in regioni come l'ippocampo, determinando una differenza tra donne e uomini anche nel lento deteriorarsi della memoria, anche se il cervello delle donne sembra avere una maggiore propensione alle malattie neurodegenerative.

Ci si chiede spesso se lo sviluppo delle nuove tecnologie possa essere un pericolo per la memoria o non, piuttosto, una risorsa.

Già Platone, nel *Fedro*, aveva avanzato la preoccupazione che, con lo sviluppo della scrittura, affidando le tracce della memoria a un documento, si fossero potuti modificare i meccanismi cerebrali della memoria, disabilitando alcuni importanti aspetti dell'intelletto. Anche oggi, di fronte alle tecnologie che ci portano a memorizzare una quantità di informazioni come mai è stato finora possibile, può essere molto reale il rischio che la memoria tecnologica possa indebolire quella biologica e possa far perdere all'uomo alcune peculiarità del ricordare o del dimenticare.

Mai l'umanità ha avuto un tale accesso al sapere e mai sono state tante, e tanto veloci, le operazioni richieste al nostro intelletto. Ormai qualsiasi studente usa Internet come fonte principale di conoscenza, dalla semplice ricerca su Google all'uso di Wikipedia, con accesso a una quantità di informazioni che non ha precedenti nella storia dell'istruzione umana.

Per seguire queste nuove modalità di elaborazione abbiamo bisogno di un intelletto in grado di poter analizzare le nuove informazioni con la stessa velocità con cui gli vengono sottoposte, e di reti neurali disponibili per tutte le elaborazioni necessarie. Se ingolfiamo i nostri circuiti della memoria con tutte le informazioni che oggi ci giungono e, soprattutto, se cerchiamo di trovare a tutte un posto nelle memorie permanenti, probabilmente satureremmo reti neurali che invece possiamo rendere disponibili per altre operazioni, intellettualmente più valide, che ci vengono richieste.

Uno dei modi in cui le tecnologie possono aiutarci è proprio questo, spingendoci a usare il nostro intelletto per funzioni più cognitive e meno mnemoniche.

I progressi delle moderne neuroscienze lasciano intravedere concrete possibilità di intervenire su questa straordinaria capacità del nostro intelletto, sulla nostra memoria.

Molti ricercatori, in varie parti del mondo, stanno lavorando sui cervelli dei topi per vedere se sia possibile agire sulla memoria. Finora sono riusciti a cancellare e riattivare memorie inviando stimoli luminosi all'amigdala, a trasferire memorie acquisite da un ratto a un altro ratto lontano più di 6000 chilometri grazie a dei microelettrodi impiantati nel loro cervello.

Si ritiene che in un futuro chissà quanto prossimo sarà possibile avere dei dispositivi che permettano di leggere nel pensiero di un'altra persona o di prenderne il controllo.

Una delle grandi scoperte degli ultimi anni è che, quando dormiamo, i nostri ricordi sono accessibili e modificabili dall'esterno: sono state fatte memorizzare coppie di parole a volontari umani inviando al cervello correnti elettriche attraverso il cranio. L'utilizzo della stimolazione magnetica transcranica è stata utilizzata anche per attivare la corteccia parietale, zona con forti connessioni con l'ippocampo, riuscendo a ottenere un tasso di memorizzazione aumentato fino al 20-25 per cento.

Ma si è visto che è anche possibile il contrario, cioè distruggere un ricordo: grazie alla somministrazione a un animale da laboratorio di una molecola che inibisce la sintesi proteica, si può ottenere la cancellazione di un ricordo. Sembra anche possibile impiantare, nella mente di un individuo, falsi ricordi che diventano indistinguibili da quelli autentici.

Tutto ciò fa sorgere quesiti e inquietudini. Ci si chiede se sia possibile immaginare un futuro in cui si possano utilizzare tutte queste scoperte per aumentare le nostre capacità cognitive e la nostra memoria. Ma ci si chiede anche quanto sia lecito intervenire sul funzionamento del cervello, se pur con lo scopo di migliorare la condizione umana.

Il modo di funzionare della nostra memoria è frutto dell'evoluzione che nei millenni ha portato l'uomo a conquistare una supremazia nel mondo e a essere quello che è. Forse si può immaginare di meglio, ma la

nostra memoria, così com'è oggi, è il meglio che la natura e l'evoluzione siano riusciti a fare.

Ritengo che il nostro cervello, con la sua memoria e i suoi ricordi, sia un bene inestimabile, il luogo dove risiedono i pensieri di ognuno di noi, le cose più private e personali che abbiamo. Anche se è giusto seguire il progresso della scienza, questo bene va rispettato; ed è altrettanto giusto porci con urgenza la questione dei limiti dell'applicazione delle nuove tecnologie cerebrali sull'uomo.

La magia della memoria risalta in modo straordinario, con la sua capacità di richiamare i fatti importanti di una vita intera e con la capacità che i ricordi hanno di scatenare emozioni nuove nella descrizione che fa Tolstoj in *Guerra e pace* degli ultimi istanti della vita del principe Andrej: «Dopo queste sofferenze il principe Andrej sentì un benessere che da tempo non aveva più provato. Tutti i momenti migliori della sua vita, in particolare quelli della sua infanzia remota, quando lo spogliavano e lo mettevano nel lettino, quando la bambinaia cullandolo cantava una ninna nanna, quando, con la testa affondata nei cuscini, era felice perché si sentiva un essere vivo, gli si presentarono alla mente, non come cose passate, ma come una realtà del presente. […] Ricordò Natascia, come l'aveva vista la prima volta al ballo del 1810, col suo collo sottile, con le sue braccia esili, col suo volto felice, spaventato, pronto all'entusiasmo. E l'amore e la tenerezza per lei si risvegliarono più fortemente e vivamente che mai nel suo cuore. […] Ricordò tutto, e il suo cuore felice fu colmo di una pietà profonda, di un amore sconfinato… e pianse lacrime di tenerezza, lacrime d'amore per gli uomini, per sé, per i propri e gli altrui errori».

# 12
# Sonno e sogni. Il cervello dopo mezzanotte

*Bisogna rappresentare la vita non come è né come dovrebbe essere, ma come essa ci appare nei sogni.*

Anton Cechov

Un uomo di circa sessant'anni, fino a pochi mesi prima in pieno benessere, attivo, grande sportivo, senza che se ne renda completamente conto modifica il proprio carattere e comincia a presentare strani sintomi. I familiari a lui più vicini notano che è più distratto, da qualche tempo cammina male, con una tendenza ad allargare le gambe, come se avesse bisogno di un maggiore equilibrio; si rendono conto che la sua memoria comincia a vacillare, soprattutto per i fatti recenti, mentre ricorda con ricchezza di dettagli le storie passate, di quando era più giovane, della sua vita di prima. Un giorno si rende anche conto che non riesce a controllare le urine e i suoi pantaloni si bagnano. Una persona brillante, piena di vita, colta, si sta trasformando in un essere diverso,

irriconoscibile da chi prima lo apprezzava. Si comincia a temere l'inizio di una terribile forma di demenza, la malattia di Alzheimer.

Viene consultato un medico il quale consiglia una risonanza magnetica dell'encefalo. L'esame mostra la presenza di una malattia chiamata idrocefalo, caratterizzata dalla dilatazione dei ventricoli cerebrali, quelle cavità che contengono il liquido che bagna il nostro cervello; in pratica, c'è troppo liquido dentro la testa e questo disturba le funzioni cerebrali.

In genere l'idrocefalo provoca un forte aumento della pressione all'interno del cranio e i sintomi sono molto evidenti, con intenso mal di testa, vomito, sopore. Qualche volta, però, la malattia è più subdola. In questi casi i sintomi che la caratterizzano consistono in una lenta, progressiva compromissione delle facoltà mentali, fino alla demenza, con associati disturbi dell'andatura e incontinenza sfinterica. Caratteristici di questa malattia sono i disturbi della memoria, soprattutto per i fatti recenti, mentre è conservato un lucido ricordo del passato.

Il quadro clinico che ho appena descritto presenta aspetti molto simili ad altre forme di demenza, tra le quali la più conosciuta è la malattia di Alzheimer. Ma con una differenza sostanziale: di *demenza idrocefalica*, com'è chiamata questa malattia, si può guarire grazie a un intervento chirurgico molto semplice, di Alzheimer no.

Nel 1973, anno in cui si svolgeva questa storia, di questa malattia ancora non si conoscevano le cause e non si sapeva come curarla. Per capire cosa stesse succedendo dentro la testa di quella persona, decidemmo di misurare la sua pressione intracranica.

Una mattina, un piccolo catetere fu inserito dentro la testa del paziente, fino al ventricolo di destra, e si cominciò a registrare. Passò un'intera giornata senza che si apprezzasse nulla di alterato o che in qualche modo potesse dare una spiegazione dei suoi problemi, o potesse chiarire perché i suoi ventricoli si erano dilatati e quale cura potesse farlo tornare a essere la persona di prima.

Era già sera e si stava decidendo di staccare tutto e rimandare il paziente nella sua stanza, quando, per una di quelle intuizioni inspiegabili ma fortunatamente frequenti nella ricerca, venne l'idea di andare avanti a registrare anche durante la notte, anzi monitorare anche le fasi del sonno. Montammo degli elettrodi sulla testa del paziente per registrare anche il

suo elettroencefalogramma (EEG) e, mentre qualcuno di noi andava a comprare dei panini e alcune bottiglie di birra, ci attrezzammo per passare quella notte in laboratorio. Anche se stanchi, il nostro sguardo era calamitato dalle penne dell'apparecchio che, senza sosta, scrivevano l'andamento della pressione intracranica e delle onde dell'EEG. Il tempo passava e il paziente sprofondava nelle diverse fasi del sonno, ma non sembrava che la pressione dentro la sua testa si modificasse in modo significativo, fino a quando, all'improvviso, le penne scriventi cominciarono a vibrare intensamente e a registrare valori di pressione altissimi. La registrazione EEG segnalava che quei rialzi improvvisi di pressione si associavano alla fase REM del sonno, cioè a quella fase in cui, mentre dormiamo, facciamo dei sogni complessi. Sbalorditi da quell'osservazione, rimanemmo fissi sui tracciati in attesa di vedere se un nuovo ciclo REM si associasse allo stesso fenomeno. E il fenomeno si ripeté ancora quella notte in tutte le fasi REM, e fu confermato le notti seguenti.

Con grande eccitazione capimmo che, mentre i pazienti con demenza idrocefalica dormivano, in particolare mentre sognavano, accadeva qualcosa dentro la loro testa capace di provocare un importante aumento della pressione intracranica. Capimmo così che il meccanismo che portava alla dilatazione dei ventricoli e al quadro clinico erano questi picchi notturni di ipertensione.

Il paziente di quella prima notte di studio fu sottoposto a un intervento chirurgico di drenaggio del liquor, e questo produsse una netta riduzione della pressione intracranica, una riduzione della dilatazione ventricolare e un chiaro miglioramento del suo quadro di demenza.

Dopo aver ripetuto questa osservazione in molti pazienti, fummo certi di avere individuato un test in grado di discriminare tra forme di demenza idrocefalica guaribile e forme di Alzheimer purtroppo non curabili con un intervento chirurgico.

Grazie a queste osservazioni oggi si sa che circa il 10 per cento delle forme di demenza è curabile con un semplice intervento chirurgico.

Quell'osservazione clinica fu molto importante anche perché ci fece capire quanto il cervello sia vulnerabile e sensibile anche a brevissimi aumenti di pressione del liquor e quante cose avvengano ogni volta che dormiamo e sogniamo.

Il sonno, con i sogni che lo accompagnano, è certamente uno tra gli aspetti più misteriosi e meno conosciuti delle neuroscienze.

Da migliaia di anni il genere umano s'interroga sul loro significato. In un papiro egizio leggiamo: «Dio ha creato le medicine per guarire le malattie, il vino per guarire la tristezza, e ha creato i sogni per guidare chi è cieco nel cammino della vita».

Per gli antichi, i sogni erano presagi del futuro. Già la Bibbia, nella *Genesi*, ci racconta di Giuseppe che millenni fa interpretò i sogni del faraone.

Spesso la spiegazione dei sogni ha rimandato a un messaggio divino: una delle storie più antiche dell'Antico Testamento narra di Giacobbe che vide in sogno la scala per il Cielo.

Talvolta i sogni possono determinare il destino del mondo, come il sogno di Costantino al quale, prima della battaglia di ponte Milvio contro Massenzio, nel 312, apparve un angelo con l'immagine della croce e le parole: *In hoc signo vinces.* Roger Caillois, scrittore e sociologo francese del secolo scorso, definiva i sogni «polvere dorata», e di una polvere così molti poemi sono cosparsi. I sogni hanno ispirato, da sempre, pittori e scrittori. Calderón de la Barca scriveva che «La vita è un sogno» e Prospero, ne *La Tempesta* di Shakespeare, ci dice che «Siamo anche noi fatti della sostanza / di cui sono fatti i sogni / e nello spazio e nel tempo di un sogno / è racchiusa la nostra breve vita».

E ancora: «Il sogno è l'infinita ombra del vero» scriveva Giovanni Pascoli, con una straordinaria approssimazione alla realtà.

Ogni uomo passa un terzo della propria vita dormendo e il sogno costituisce un elemento fondamentale del ciclo del sonno. Almeno due ore di ogni nostro sonno notturno sono occupate da sogni, che durano dai 5 ai 25 minuti ciascuno; ciò vuol dire che, nel corso di una vita media, almeno 6 anni li passiamo sognando, imbarcandoci ogni notte per un viaggio straordinario che influenzerà i nostri pensieri e i nostri sentimenti del giorno che seguirà.

Eppure, con la luce del giorno, quando apriamo gli occhi e riprendiamo coscienza, tutto ciò che accade mentre dormiamo svanisce e dei sogni possiamo ricordare solo brevi frammenti.

Il neuroscienziato Giulio Tononi scrive: «Quante esperienze vanno irrimediabilmente perdute ogni volta che non riusciamo a rievocare un

sogno? Quante vite abbiamo vissuto che non possiamo ricordare».

Ma se è così, perché il nostro cervello sente il bisogno ogni giorno di attivare un programma che ci faccia dormire? E il sonno, è un pezzo sprecato della nostra vita oppure risponde a una funzione vitale?

Di sicuro il sonno svolge una funzione importante nell'equilibrio della vita. Tutti gli animali sentono il bisogno di dormire, anche se alcuni di essi, come i delfini, dormono con metà cervello per volta. E dormivano anche i nostri progenitori vissuti nella savana, incuranti del pericolo rappresentato dai predatori notturni e dai nemici.

Sappiamo anche che una privazione di sonno diminuisce le prestazioni cerebrali e altera la nostra memoria. Studi su animali hanno mostrato come, privati del sonno, essi morirebbero più in fretta di quanto non farebbero per fame.

Ma, allora, perché dormiamo? Qual è la funzione del sonno? Perché il sonno è benefico? Quanto è necessario dormire? E soprattutto, cosa succede al nostro cervello dopo che ci siamo addormentati?

E ancora, da dove vengono i sogni? Come dobbiamo interpretarli? Che importanza hanno nella nostra vita? I sogni sono espressione di desideri inconsci, come insegnava Freud, oppure una chiave importante per risolvere l'enigma della nostra coscienza, come suggeriscono altri neuroscienziati?

Con l'elettroencefalografia (EEG), cioè quella metodica con cui registriamo l'attività elettrica dell'insieme dei neuroni della nostra corteccia e di cui ci serviamo per studiare le cause di una cefalea o gli effetti di un trauma cranico, possiamo studiare quali fenomeni si succedono nella nostra testa mentre dormiamo.

L'attività di base di un cervello sano, in condizioni di veglia e a riposo, è caratterizzata da un ritmo relativamente veloce (8-10 cicli al secondo), poco ampio, abbastanza regolare, risultato dell'attività elettrica di tante reti neurali che scaricano ognuna per proprio conto. È come un mare in cui le tante piccole onde che lo attraversano increspano appena la superficie.

Quando ci addormentiamo, isolandoci dal resto del mondo ed entriamo progressivamente in un sonno profondo, le onde cerebrali rallentano e diventano ampie, con alti picchi e profondi avvallamenti, come se all'improvviso il mare della mente fosse attraversato da onde

sempre più alte. Questo succede perché sempre più cellule cerebrali entrano lentamente in fase fra loro, sincronizzando il loro funzionamento e perdendo la loro individualità.

Se potessimo sentire la musica dei neuroni, da svegli sarebbe come prima dell'inizio di un concerto, quando gli orchestrali accordano gli strumenti ognuno per proprio conto; si sentirebbero suoni discordanti, un apparente disordine attraversato da qualche linea melodica. A un tratto arriva il direttore d'orchestra che, con un movimento del capo, interrompe il suonare dei singoli e mette ordine agli orchestrali che da quel momento, seguendo il movimento della sua bacchetta, iniziano a suonare in modo sincrono e coordinato: inizia una melodia ampia, arriva il sonno profondo con le sue ampie onde.

Si ritiene che i neuroni, gli strumenti musicali della nostra testa, in questa fase del sonno profondo svolgano un'attività di riordino delle esperienze recenti, di quello che ci è successo il giorno prima. In questo modo, le cose di poco conto vengono rimosse, mentre le informazioni importanti entrano nella memoria a lungo termine e vi si fissano gradualmente.

Durante queste prime fasi del sonno profondo, quando le onde lunghe e ampie abbracciano quasi interamente la corteccia cerebrale, si costruiscono nel cervello immagini semplici, sogni elementari basati per lo più sulle esperienze recenti, sogni che rapidamente vengono dimenticati senza arrivare alla nostra coscienza, senza alcuna consapevolezza di quanto accade.

Poi, all'improvviso, qualcosa scuote il cervello. Le onde lente si smorzano, il ritmo cerebrale torna ad accelerare, come se ci stessimo svegliando, come pure il battito cardiaco e la respirazione, e gli occhi all'improvviso cominciano a muoversi rapidamente: entriamo nel sonno REM (*Rapid Eyes Movements*). Il mare della mente si placa e torna a essere appena increspato, come nella veglia, e la musica ha perso la linea melodica che ci cullava; ma, a differenza della veglia, non vi è evidenza alcuna di attività muscolare, restiamo totalmente paralizzati, solo gli occhi si muovono senza sosta, come se seguissero immagini reali. In questo momento avanzato della notte, in questa fase REM, i contenuti dei sogni diventano più ricchi e complessi, possiamo vedere immagini in movimento, crediamo di correre, ci arrampichiamo, voliamo, e nel sogno, infine, riconosciamo noi stessi; sono questi i sogni che

ricordiamo al mattino. Alcuni sogni si ripresentano periodicamente nelle nostre notti, come essere inseguiti da qualcuno che ci fa paura o avere la sensazione di volare, rivedere i nostri genitori o cadere dall'alto o avere storie di sesso, oppure, come un'ossessione, ripetere l'esame di maturità.

I cambiamenti delle fasi del sonno si succedono tante volte (quattro, sei, o anche di più), ma, a mano a mano che ci addentriamo nella notte e si avvicina il mattino, i periodi di sonno profondo diventano sempre più brevi mentre si allungano i periodi del sonno movimentato, del sonno REM, e i nostri sogni, proprio quelli che ci rimangono in mente al mattino, diventano sempre più complessi.

Possiamo dire a ragione che ogni notte, quando spegniamo la luce, la nostra mente ci conduce attraverso esperienze fantastiche e ci trasporta in un viaggio straordinario.

Se nei primi sogni della notte vaghiamo sulle esperienze del giorno trascorso, nelle ultime fasi la nostra mente confronta e integra questi fatti con le conoscenze già fissate nella nostra memoria e al tempo stesso, adattandole e integrandole con le esperienze nuove, le cambia; in questo modo i ricordi fissati nelle nostre reti si modificano e si consolidano. Da questo lavoro di elaborazione nascono i sogni sfrenati della fase REM, a volte così confusi, che connettono esperienze autenticamente vissute con i ricordi di analoghe esperienze passate, facendo collegamenti trasversali inattesi ma proprio per questo utili per l'evoluzione del nostro sapere.

Questo viaggio nella memoria è importantissimo per noi perché con i sogni diamo una consistenza ai ricordi, alla memoria della vita passata e li integriamo con la realtà attuale. Per capire il significato di questo lavorio immaginiamo di rivedere un amico dopo tanti anni. L'immagine del suo viso nella nostra memoria e il viso che adesso ci troviamo davanti non coincidono, le rughe sono aumentate, il tempo gli ha segnato il volto, i capelli si sono imbiancati. Durante i sogni, il nostro cervello aggiornerà la casella della memoria e il volto che da questo momento richiamerà alla mente pensando a quell'amico sarà quello della realtà recente. Il sonno è, quindi, molto più di un semplice momento di sosta: mentre il corpo riposa, il cervello si rigenera, si ampliano le connessioni fra le cellule cerebrali, si consolidano e si aggiornano i ricordi, si modifica la nostra personalità.

Tra ciò che il cervello mette in ordine vi sono anche aspetti cognitivi

che attengono a ciò che noi chiamiamo cultura; anche questa si organizza durante il sonno. E sappiamo che senza cultura la mente non potrebbe esistere: impariamo, conosciamo, ricordiamo perché siamo permeati di cultura. Mentre sogniamo, le nostre capacità si ampliano e il nostro cervello cambia.

Una delle caratteristiche dei sogni è che le immagini che vi si formano sono esperienze puramente interiori, senza alcun riferimento alla realtà esterna. Quando ci addormentiamo, la nostra corteccia va in pausa e non riceve più i segnali dai nostri organi di senso. I sogni, pertanto, sembrano esistere soltanto per i ricordi, e non sarebbero altro che un riflesso di esperienze passate. Tutti i nostri viaggi notturni, pertanto, sono pieni del ricco tessuto delle nostre vite.

Quanto succede mentre sogniamo ci insegna che la mente non ha bisogno di alcun apporto sensoriale dall'esterno per attivarsi, può farlo da sé, attraverso l'elaborazione di informazioni già immagazzinate.

Tutti noi sogniamo molto durante la notte. Purtroppo della maggior parte dei sogni ci rimane poco, vengono dimenticati quasi subito al risveglio, non vengono depositati nella memoria a lungo termine. In questo modo la maggior parte delle esperienze della notte inesorabilmente si dissolve senza lasciare traccia.

Ma non sempre è così. Spesso, quando ci avviciniamo al mattino e singole regioni del cervello cominciano a svegliarsi, passiamo attraverso una fase in cui coesistono in noi, al tempo stesso, sonno e veglia; in questi momenti, mentre i primi rumori del nuovo giorno cominciano a entrare nella nostra stanza e in un dormiveglia che non è ancora coscienza piena ci sforziamo di non svegliarci per prolungare l'ultimo sogno della notte, allora capiamo quanto possa essere complessa e affascinante la vita che ogni notte viviamo nei nostri sogni.

«Rammenti solo qualche frammento di sogni, ma percepisci che nei tuoi sogni deve esserci stato molto di più, come se fossi penetrato di notte in un continente sconosciuto del quale, di giorno, riesci a percepire solo una striscia di costa. Questo continente è la tua psiche»: così scrive Stefan Klein.

Il sonno e i sogni ci portano nel mistero della coscienza, aprendo una serie di interrogativi. Quando sogniamo la coscienza è attiva? Quello che sperimentiamo mentre vaghiamo nei sogni possiamo chiamarlo

espressione della coscienza o è frutto di un'attività inconscia del nostro cervello? Può esistere una coscienza senza una consapevolezza da parte dell'individuo? E il fatto che non ricordiamo i sogni vuol dire che in quei momenti il cervello non era cosciente oppure che lo era ma quel momento di coscienza è sfumato senza che noi ne avessimo consapevolezza? Possiamo avere coscientemente esperienze senza ricordarle? Se coscienza è non solo consapevolezza di noi stessi, ma capacità di programmare il futuro e di scegliere volontariamente le nostre azioni, come può nel sonno esservi coscienza? Sono domande alle quali è difficile trovare risposte, ma è certo che tra la mancanza di coscienza e la piena coscienza esiste una linea estremamente esile; è sufficiente, infatti, svegliare la persona che sogna per passare da uno stato di incoscienza a uno pienamente cosciente.

Qualcuno considera i sogni soltanto una copia confusa del nostro mondo della veglia. In realtà, quando sogniamo, il cervello funziona in modo totalmente diverso da quando siamo vigili. Di conseguenza, sarebbe strano che noi facessimo in sogno esperienze sovrapponibili a quelle che facciamo di giorno.

I sogni, infatti, raccontano una storia alquanto disconnessa e con caratteristiche peculiari. Nei sogni possiamo tornare all'infanzia e alla giovinezza, ai momenti in cui abbiamo fatto le prime esperienze, in cui abbiamo avuto i primi amori e abbiamo cominciato a progettare il nostro futuro, fatti che si sono impressi fortemente nella nostra memoria. Per questo, spesso, i sogni ci schiudono le porte di ricordi che forse altrimenti non avremmo mai più riaperto.

I sogni sono caratterizzati dalla scomparsa delle regole del tempo e dello spazio. Possiamo trovarci al mare e subito dopo in montagna, rivivendo allo stesso tempo situazioni e incontri avvenuti in momenti distanti della nostra vita, e poi trovarci anziani ai giorni nostri, oppure essere a Roma e in pochi attimi vederci a Parigi; e tutto con una velocità che ci stupisce e che ci appare irreale. Nel sogno, spesso, mancano un inizio preciso e una fine vera e propria del racconto. Si dissolve il tempo, alla cronologia subentrano altre regole che solo il sogno ha. Ma, in questo apparente rincorrersi di immagini sconnesse, la mente fissa la nostra identità, la nostra storia, quella in cui ci riconosceremo nel trascorrere del tempo.

Una caratteristica dei sogni è quella di essere *iper-connettivi,* e questa ampia, elastica e veloce connettività è l'aspetto che permette al sogno di mettere insieme e raffrontare esperienze e ricordi che altrimenti rimarrebbero eternamente separati.

Qualcuno è stato anche capace di indirizzare i propri sogni, come negli esperimenti del barone di Hervey, studioso francese della seconda metà dell'Ottocento, famoso per le sue osservazioni sul sonno, il quale chiedeva al suo maggiordomo che all'alba gli spruzzasse sul cuscino un particolare profumo, o per sognare le montagne della sua infanzia, o per rivivere una storia d'amore con l'ultima delle sue amanti. Chissà se sapeva che l'olfatto, ben collegato con le amigdale e gli ippocampi, è l'unico senso che resta acceso durante il sonno?

Comunemente si ritiene che il sonno rappresenti per il cervello un momento di sosta. La scienza oggi ha studiato molti aspetti del funzionamento della nostra mente durante il sonno e ha capito che il cervello, diversamente dal corpo, mentre noi dormiamo non si ferma mai ma continua a lavorare.

Che il sonno non sia un riposo per il cervello è dimostrato dal fatto che, nel passaggio dalla veglia al sonno, il suo consumo di energia cala solo di un 10 per cento; in talune parti del cervello addirittura aumenta. Durante la notte, non più bombardato da stimoli esterni, il cervello finalmente può effettuare il lavoro di archiviazione e integrazione delle informazioni della giornata. Studi di imaging cerebrale rivelano che le aree del cervello che si attivano quando dormiamo sono le stesse coinvolte nei processi di apprendimento; quindi sognare serve proprio a consolidare le nuove informazioni acquisite.

Una delle prerogative più affascinanti del cervello è che impara sempre. Ogni volta che partecipiamo a una discussione, o ci confidiamo con un amico, o dopo aver letto un libro, il nostro cervello si modifica, sviluppa reti neurali nuove. Anche nel profondo lavorio delle ore di sonno la mente impara e al risveglio abbiamo reti neurali diverse da quando ci siamo addormentati.

E imparando, il cervello stimola la nostra creatività. Anche la peculiare struttura narrativa dei sogni, fatta di salti imprevisti e bizzarre associazioni di idee, può determinare straordinarie interazioni con i processi creativi. Questo rimescolare le carte è verosimilmente

responsabile dell'esperienza che tutti abbiamo fatto almeno una volta, ossia di uscire da un sogno con un'idea nuova, una visione chiara rispetto a un problema che prima di addormentarci non avevamo.

Molti personaggi illustri hanno confessato di avere trovato nel sonno degli spunti importanti di creatività. Vladimir Horowitz, il grande pianista, confessava di esercitarsi con le dita e di imparare anche in sogno. *Yesterday,* uno dei pezzi più famosi della musica pop, venne in mente a Paul McCartney nel dormiveglia. Per non essere da meno, è sognando che Keith Richards, in una notte di maggio del 1965, diede vita a una delle pietre miliari del rock mondiale, *(I can't get no) satisfaction.* Thomas Edison, l'inventore della lampadina a incandescenza, del grammofono, della prima cinepresa funzionante e di migliaia di altri dispositivi brevettati, aveva l'abitudine di schiacciare un pisolino quando, dopo uno sforzo di riflessione infruttuoso, non riusciva a trovare la soluzione giusta. Il compositore barocco Giuseppe Tartini sognò di aver venduto l'anima al diavolo e, svegliatosi, compose il celebre *Trillo del diavolo.* Il chimico Dmitrij Mendeleev creò la moderna tavola periodica degli elementi dopo un sogno. L'idea che i neurotrasmettitori potessero regolare il flusso delle informazioni delle sinapsi, concetto alla base delle neuroscienze, venne al farmacologo Otto Loewi in sogno. Anche Salvador Dalí raccomandava questo metodo, affermando che lo aveva ispirato in numerose opere.

Sono soprattutto gli stati di dormiveglia, un misto tra libera fantasia del sogno e albeggiare della coscienza, che possono diventare momenti di straordinaria ispirazione. È possibile che, dopo che il cervello durante la notte ha rimosso il disordine in eccesso, la mente si trovi più libera di compiere associazioni che prima non era in grado di vedere.

Il lavoro di neurochirurgo mi ha portato a contatto con tante persone e mi ha permesso di essere testimone diretto di uno straordinario momento di creatività legata al sonno. Tra le persone che ho avuto il privilegio di curare, un posto speciale nella mia memoria, e anche nel mio cuore, lo occupa Gian Carlo Menotti, grande musicista e patron del Festival di Spoleto. Pochi mesi prima che morisse, ricevetti una telefonata da suo figlio: «Papà mi ha chiesto di chiamarti e dirti che è rammaricato perché da tempo non ti vede». Annullai tutti gli impegni e poche ore dopo ero a Spoleto, a casa loro. Gian Carlo mi raccontò che quella mattina, nel

dormiveglia, aveva sentito risuonare nella sua mente una musica bellissima; per questo, per farmela sentire, mi aveva fatto chiamare. Si mise al pianoforte e suonò, per me soltanto, una musica celestiale. Probabilmente fui tra i pochi testimoni di quel momento straordinario di creatività che la sua mente espresse in quel momento di sospensione tra sonno e veglia. Purtroppo, dopo poco tempo, il maestro morì.

Per capire come sia possibile che un individuo sveglio precipiti nel sonno e si isoli dal resto del mondo, bisogna fare riferimento ad alcune aree cerebrali.

La prima, costituita da un pugno di circa 20mila neuroni che danno il ritmo alle nostre giornate in base al ciclo luce/buio, è situata dietro gli occhi, ed è detta *nucleo sopraottico*. A questo nucleo arriva dalla retina un fascio nervoso diretto e ancestrale che indica solo se c'è o meno luce; in base a questo, il nucleo sopraottico, quando si fa buio, invia alla ghiandola pineale segnali che stimolano il rilascio nel circolo sanguigno di *melatonina,* l'ormone del riposo, che provoca sonnolenza e informa gli organi che è ora di andare a letto.

Un'altra area cerebrale importante nel meccanismo del sonno è localizzata, bilateralmente al centro della nostra testa ed è chiamata *talamo*. I talami hanno la funzione di trasmettere alle diverse parti del cervello i segnali che provengono dai nostri sensi, attivando così la nostra coscienza. Per questo motivo i talami sono definiti *la porta della coscienza*. Ogni notte, nel momento in cui ci si addormenta, il talamo, in sintonia con una struttura che si trova nel tronco dell'encefalo e che ha la funzione di tenerci svegli, la cosiddetta *formazione reticolare ascendente*, interrompe le sue comunicazioni con la corteccia; di conseguenza, tutte le attività del cervello che ci tengono svegli si spengono. E da quel momento, noi e le nostre cellule cerebrali iniziamo un'altra vita, diversa da quella che conosciamo così bene, e ci addentriamo in un mondo nuovo.

Gli studi sul cervello ci dicono dunque che la nostra vita notturna non è solo il risultato di un gioco di disattivazione di aree cerebrali. Nel sonno, anzi, si attivano molte aree; per esempio l'ippocampo, regno dell'apprendimento e della memoria, sede in cui si formano i ricordi; ciò è strettamente legato al fatto che i sogni attingono al nostro magazzino di ricordi. E con esso si attiva anche l'amigdala, cioè l'area cerebrale

deputata all’elaborazione delle emozioni e dei comportamenti, e ciò significa che i sogni coinvolgono fortemente la sfera emotiva, suscitando gioia, ma anche paura. Contemporaneamente, altre zone cerebrali vengono disattivate, tra queste, soprattutto, la corteccia prefrontale dorso-laterale, sede dei processi decisionali e motivazionali che ci permettono l’adattamento a situazioni nuove; in questo modo, con il sonno, si inattiva la parte più razionale del nostro cervello e forse per questo nei nostri sogni troviamo spesso un senso disordinato e senza apparente plausibilità.

Alcune persone, pochissime, vanno incontro ai cosiddetti sogni lucidi, in cui, pur sognando, la corteccia prefrontale, solitamente spenta quando dormiamo, rimane attiva, espressione di una, per quanto parziale, coscienza. Nel buddhismo ci sono libri che citano il sogno lucido e spiegano il percorso da intraprendere per impararne la tecnica. Già nell’VIII secolo d.C., alcuni monaci tibetani praticavano tecniche di sonno lucido. Anche Richard Feynman, Nobel per la Fisica, ne fece esperienza e chiamò lucidi quei sogni sui quali era in grado di influire con la sua volontà.

Di fatto, molti sognatori lucidi spiegano che nel sonno sono in grado di verificare idee e svilupparle ulteriormente. Queste idee sembrano nate dal nulla, in realtà, essendo i fatti del sogno frutto di un’esplorazione interiore, appare naturale che ogni sogno presenti forti collegamenti con ciò che coinvolge la quotidianità di chi sogna. Mentre sogniamo, quindi, la mente continua a lavorare cercando soluzioni ai problemi che la assillano di giorno.

L’interpretazione dei sogni è tra gli aspetti più intriganti delle neuroscienze. Per migliaia di anni gli esseri umani si sono interrogati sul significato dei sogni. Per Freud la maggior parte della nostra vita mentale ed emotiva è inconscia e i sogni soprattutto sono espressione di desideri inconsci. Per altri neuroscienziati essi sono una chiave per risolvere l’enigma della nostra coscienza.

Per Kafka i sogni non vanno interpretati, sono «la lingua dell’anima».

Certamente i sogni ci ispirano, ci aiutano a capire meglio la nostra

vita interiore. Ma i sogni, con la loro bellezza e il loro mistero, sono soprattutto, come abbiamo visto, un dono del cervello, essenziale per la qualità della nostra vita.

Come abbiamo detto, molte cose succedono dentro la nostra testa durante la notte. Mentre il corpo riposa, il cervello si rigenera; si ampliano le connessioni fra le cellule cerebrali, alcuni circuiti si consolidano mentre altri sono sfoltiti, si attivano nuove sinapsi che codificano quanto si è imparato da svegli e in questo modo si consolidano i ricordi e si modifica la nostra personalità.

Il tempo che trascorriamo nel sonno profondo è anche il momento in cui la corteccia prefrontale, la parte del cervello che prende le decisioni, recupera le energie e si ricarica per affrontare il lavoro che la attende il giorno seguente. Prendere decisioni è un lavoro molto faticoso, senza soste; anche quando stiamo pigramente rilassati, questa parte del cervello è costantemente attiva. Esami cerebrali hanno mostrato che anche solo dopo 24 ore trascorse senza dormire, i neuroni della corteccia prefrontale cominciano a rallentare, rendendo più difficile completare un pensiero o analizzare un problema.

Ma oltre alle funzioni cognitive, succedono tante altre cose. Un compito importante del sonno è quello di eliminare i rifiuti, cioè i metaboliti prodotti dall’attività cerebrale della veglia: il sonno permette al cervello di fare le grandi pulizie.

Le cellule cerebrali nella loro azione producono rifiuti tossici sotto forma di proteine dannose e inutili, che, se si accumulano, si depositano in placche beta-amiloidi tra i neuroni con effetti negativi sul pensiero, il comportamento e l’umore. Il liquor che bagna il cervello rimuove gli scarti indesiderati, ma se non dormiamo abbastanza le tossine restano nel cervello rendendoci annebbiati e irritabili. Meno dormiamo profondamente, meno il cervello è capace di ripulirsi degli accumuli nefasti della proteina beta-amiloide, quella che si riscontra in grande quantità nei casi di Alzheimer.

Durante le fasi di sonno profondo il nostro cervello produce l’ormone della crescita che serve a rigenerare le cellule che si perdono ogni giorno. Il ritmo del sonno regola anche quello della secrezione del cortisolo e della prolattina, ormoni molto importanti per il corretto equilibrio del nostro organismo. A un buon sonno è legato anche il

corretto funzionamento del sistema immunitario.

Dopo quanto abbiamo detto, appare chiaro come il sonno, per il cervello, per l'acquisizione di conoscenze, per lo sviluppo delle nostre idee e della nostra memoria, sia altrettanto importante della veglia. In un cervello sano tutto è legato: senza la veglia non avremmo coscienza, ma senza la possibilità di dormire non potremmo vivere. Tutto ciò che ci rende quello che siamo dipende anche dalle ore che ogni notte trascorriamo sognando. Eppure il sonno continua a essere dimenticato, sottovalutato e messo in secondo piano. Rendersi conto di quanto il sonno sia importante e fare di tutto per dormire bene può migliorare la qualità della nostra vita. Possiamo dire che noi siamo come dormiamo.

Il sonno acquisisce un'importanza ancora più rilevante nei bambini. Ogni volta che vedo un bambino piccolo che si sforza e piange e resiste pur di non essere afferrato dal sonno, penso al dilemma che sta consumandosi nel suo cervello; da un lato la paura di lasciare la sicurezza degli affetti e addentrarsi in un mondo sconosciuto, dall'altra la necessità di addormentarsi perché si formino nuove sinapsi e nuove connessioni, perché il cervello sedimenti tutto quanto di nuovo ha sperimentato.

Soprattutto nei bambini, fin dai primi giorni di vita, il cervello ha bisogno di incamerare moltissime informazioni; serviranno per sviluppare le reti neurali e costituire il loro patrimonio di conoscenze. Per questo i neonati dormono circa quindici ore al giorno e i bambini dormono molto più degli adulti, e per questo nel loro sonno prevale la fase REM, essenziale per lo sviluppo dei processi nervosi e la formazione di connessioni corticali. È scientificamente dimostrato che i bambini che dormono di più hanno una soglia di attenzione più alta e un atteggiamento più calmo, sono maggiormente in grado di imparare e adattarsi ai cambiamenti intorno a loro.

Per questo è importante aiutare i bambini a dormire per tutte le ore necessarie, non cercando di farli adattare ai ritmi degli adulti, possibilmente accompagnandoli serenamente verso il sogno con il suono della nostra voce, con racconti inventati o leggendo un libro; saranno esperienze che rimarranno per sempre nella loro vita, anche quando saranno adulti, e che hanno il compito di accompagnarli verso l'inconscio del sonno, togliendo loro la paura e la solitudine. Anche nel

mondo di oggi, così cambiato rispetto a quando eravamo noi bambini, il legame che si crea tra le parole dell'adulto e l'attenzione stupita del bambino ci trasporta indietro nel tempo, alle innumerevoli volte in cui tra chi racconta e chi ascolta si è realizzato questo momento straordinario in cui le memorie dell'uno sono diventate i sogni dell'altro, creando magie che per il bambino diverranno straordinari ricordi e frammenti della sua identità.

È una bella sera d'estate in una casa in campagna. I bimbi, dopo una giornata di libertà sfrenata e di sole, sono seduti con i grandi nell'aia, sotto un albero, finalmente al fresco della sera. Tutti guardano il cielo stellato; dopo un lungo e sereno silenzio, uno dei bambini chiede: «Papà, mi racconti una storia?». E in questo modo inizia un miracolo che si è ripetuto tante volte nella storia del mondo. Nella serenità della notte, mentre una voce tesse la trama di un racconto, lo straordinario laboratorio di un cervello adulto, silenziosamente, costruisce i tasselli di ricordi che, in maniera diversa, si depositeranno nel cervello di ognuno di quei bambini. Migliaia di sinapsi cresceranno lungo i prolungamenti dei neuroni, stabilendo connessioni tra loro, producendo sostanze chimiche che attiveranno quelle connessioni, creando reti neurali. E così i cervelli di quei bambini, sulla base di un racconto, costruiranno parte della loro storia. Poi scenderà la notte, si andrà a dormire e quel racconto, che tanto ha emozionato i bambini, entrerà nei loro sogni, si confronterà con esperienze precedenti, diverrà parte della loro memoria.

Così immagino che facessero i nostri antenati, quando i libri e la luce elettrica ancora non esistevano.

In un cervello infantile tutto ciò è straordinariamente importante perché contribuisce a costruire i tasselli che, lentamente, col passare degli anni, ne faranno un cervello adulto, con il suo bagaglio di esperienze e di ricordi.

E allo stesso tempo, grazie al racconto, si stimola la produzione di ossitocina, che è l'ormone dell'amore che ci fa sentire uniti a un'altra persona, al sicuro.

Diceva Rudyard Kipling: «Se la storia si scrivesse sotto forma di favole, nessuno la dimenticherebbe». E Albert Einstein aggiungeva: «Se volete che vostro figlio sia intelligente, leggetegli delle favole; se volete che sia molto intelligente, leggetegliene di più».

Il bisogno di sonno è soggettivo: a qualcuno bastano 5 ore, altri non si sentono riposati se non ne dormono 12. Sicuramente vi è una differenza per fasce di età. Andando avanti con gli anni si accorcia la durata e anche il bisogno di sonno; un neonato, invece, dorme dalle 15 alle 18 ore al giorno facendo molti sogni REM; a 10 anni si dorme intorno alle 11 ore; per un adulto sono sufficienti 7-8 ore; gli anziani dormono circa 5-6 ore a notte.

La maggioranza degli adulti dovrebbe dormire dalle 7 alle 8 ore a notte. Dormire troppo (più di 9 ore) o troppo poco (meno di 5 ore) mette a rischio il cuore e mette a repentaglio l'organismo (obesità, diabete, ansia). Particolarmente pericoloso è il dormire poco.

Oltre che dormire bene la notte, un'altra cosa che può essere utile al cervello è schiacciare un pisolino (*power nap*). La siesta è assolutamente naturale e ci aiuta a essere più vispi, creativi e produttivi. Si è visto che anche un breve pisolino pomeridiano migliora la coordinazione motoria e l'apprendimento del 20 per cento, mentre è dimostrato da una serie vastissima di studi che la deprivazione di sonno diminuisce le prestazioni cerebrali e compromette la memoria.

Le statistiche sono impressionanti: secondo alcuni sondaggi circa un terzo degli adulti non riesce a dormire quanto dovrebbe e molti bambini arrivano a scuola affaticati. La nostra tendenza a dormire poco e male riduce la produttività, impedisce l'apprendimento, rovina i rapporti, blocca il pensiero creativo e indebolisce l'autocontrollo.

Negli adulti, dormire male è spesso causa di depressione e obesità, nei bambini potrebbe scatenare la sindrome da deficit dell'attenzione con iperattività.

Persino una minima privazione può avere un effetto deleterio sulla salute ed è associata a un più elevato rischio di malattie cardiache, diabete, ipertensione e morte prematura. Anche memoria, vocabolario e pensiero logico sono correlati a un buon sonno.

Sappiamo che la melatonina abbassa la pressione arteriosa e contribuisce a prevenire infarti e ictus. Chi dorme meno di sei ore a notte produce livelli inferiori di melatonina, aumentando i rischi di ipertensione. Lo stesso vale per il diabete.

Non dormire stimola la produzione di cortisolo, ormone dello stress, il quale, oltre ai danni che produce al cervello, inibisce la produzione di collagene, dando alla pelle un'aria malsana e facendo comparire rughe e

occhiaie.

Se non dormiamo abbastanza faremo fatica a concentrarci, tenderemo ad avere più incidenti, saremo meno determinati e produttivi.

Nel disastro della Exxon Valdez, che distrusse la fauna e l'habitat dell'Alaska ed è considerato una delle più gravi catastrofi ambientali della storia moderna, secondo gli inquirenti la mancanza di sonno ebbe un ruolo molto importante.

La National Highway Traffic Safety Administration degli Stati Uniti ritiene che la stanchezza da mancanza di sonno provochi più di 100mila incidenti stradali e 1500 vittime l'anno, e che la sonnolenza sia la maggior causa di incidenti fatali tra chi ha dai 18 ai 20 anni.

Ma anche dormire troppo non fa bene: dormire per nove o più ore ogni notte è associato a una serie di problemi medici, tra cui diabete, obesità, mal di testa, cancro e malattie cardiache.

In conclusione, avere un sonno regolare permette di riprendere le forze spese durante il giorno e all'organismo di funzionare al meglio, favorendo concentrazione, coordinamento e, soprattutto, buon umore.

Il sonno, in breve, contribuisce a farci diventare le persone che vogliamo essere. Per questo il sonno e i sogni, con la loro bellezza e il loro mistero, sono uno straordinario regalo che la natura ci fa. In cambio ci chiede soltanto di chiudere gli occhi e di lasciarci andare.

# 13
# Lo straordinario cervello delle donne

*State molto attenti a far piangere una donna perché Dio conta le sue lacrime! La donna è uscita dalla costola dell'uomo, non dai piedi perché dovesse essere calpestata, né dalla testa per essere superiore, ma dal fianco per essere uguale, un po' più in basso del braccio per essere protetta e dal lato del cuore per essere amata!*

Talmud

Parlare del cervello delle donne e quindi delle differenze con il cervello dell'uomo e delle basi scientifiche che spiegano queste differenze, significa superare preconcetti sviluppatisi in secoli di osservazioni e per la grande maggioranza non suffragati da basi scientifiche.

Diceva Simone de Beauvoir: «Maschi e femmine si nasce, ma uomini e donne si diventa», come se i generi, da un punto di vista antropologico, fossero determinati su base culturale e non biologica.

La realtà è che non esiste un cervello fotocopia tra maschi e femmine. Il cervello maschile e quello femminile sono diversi fin dalla nascita, oltre che nell'anatomia anche nel loro modo di funzionare. Si

tratta di differenze realizzatesi nel corso di millenni, che coinvolgono la genetica, gli ormoni, i comportamenti, e che non implicano alcun giudizio di superiorità o inferiorità, di maggiore o minore intelligenza, ma sono semplicemente il risultato del fatto che nel corso di millenni, durante l'evoluzione, uomini e donne hanno svolto ruoli diversi e ciò ha determinato nei due sessi sviluppi cerebrali diversi e, di conseguenza, comportamenti diversi.

Louann Brizendine, una neuropsichiatra che insegna a Berkeley, ha scritto: «Mentre gli uomini potenzieranno in particolare i centri cerebrali legati al sesso e all'aggressività, le donne tenderanno a sviluppare doti uniche e straordinarie: una maggiore agilità verbale, la capacità di stabilire profondi legami di amicizia, la facoltà quasi medianica di decifrare emozioni e stati d'animo dalle espressioni facciali e dal tono della voce, e la maestria nel placare i conflitti».

Cominciamo a vedere in cosa differiscono i due cervelli, partendo dalla genetica. Il codice genetico femminile per più del 99 per cento è identico a quello maschile. Questo vuol dire che dei 30mila geni presenti nel genoma umano, la variazione tra i sessi è minima, inferiore all'1 per cento. Tuttavia, sappiamo che differenze anche in pochi geni chiave possono avere profonde influenze sulle dimensioni e sull'organizzazione del cervello. Pensate a quale grande differenza ci sia fra il cervello di grandi scienziati, come Albert Einstein o Rita Levi Montalcini, e quello di uno scimpanzé; eppure i loro genomi differiscono solo per l'1,2 per cento!

Altra differenza. Le conoscenze di oggi ci dicono che il cervello della donna pesa circa il 12 per cento in meno di quello dell'uomo: in media 1200 grammi contro 1350. Tuttavia, se si fa una misura non assoluta ma relativa al peso corporeo, la differenza si annulla e anzi ne viene fuori una molto lieve a favore della donna.

Il quoziente intellettivo (QI), per quanto valga misurarlo, è identico; anzi, negli ultimi cento anni le donne hanno superato gli uomini in fatto di intelligenza, migliorando le prestazioni nei test. E questo non certo perché i loro geni o le dimensioni del cervello siano cambiati, ma perché oggi le donne hanno una maggiore istruzione e hanno raggiunto maggiori possibilità di espressione rispetto ai secoli scorsi.

La realtà è che le intelligenze dell'uomo e della donna sono molto

diverse e complementari, ed è questa la cosa affascinante dal punto di vista neurobiologico.

Le moderne tecniche di studio consentono di rilevare queste differenze. Una merita davvero attenzione ed è quella relativa al numero di neuroni e alla densità delle connessioni. Si è visto che i maschi hanno 6,5 volte più neuroni, mentre le donne hanno 10 volte più connessioni. Che vuol dire? Partiamo dalle connessioni. Sappiamo che i due emisferi cerebrali hanno modalità differenti, ma complementari, di analizzare ciò che osserviamo: l'una logico-razionale, che corrisponde al modo di operare dell'emisfero dominante (più frequentemente l'emisfero sinistro), l'altra intuitiva-olistica, prerogativa dell'emisfero non dominante (più frequentemente l'emisfero destro). Naturalmente, un corretto funzionamento del cervello richiede che i due emisferi interagiscano fra loro, che siano connessi. Una delle differenze più importanti tra i due sessi è proprio quella relativa alle connessioni tra i due emisferi, più sviluppate nella donna che nell'uomo.

Nel cervello della donna è stato riscontrato un maggior spessore di due strutture che facilitano la comunicazione tra i due emisferi: il corpo calloso e la commissura anteriore; e le connessioni sono soprattutto trasversali e vanno dall'emisfero destro a quello sinistro e viceversa. In questo modo il cervello femminile, ogni volta che deve interagire con la realtà esterna, riesce a reclutare sinapsi in maniera massiva da entrambi gli emisferi, facilitando la comunicazione tra pensiero analitico e pensiero intuitivo. Conseguenza di questo diverso arrangiamento delle fibre è che nelle donne la comunicazione interemisferica è facilitata e il loro cervello ha una modalità di funzionamento più globale, più idonea alla comprensione intuitiva dei problemi, anche complessi, rispetto alla procedura razionale e sequenziale, più tipica del sesso maschile.

I maschi, al contrario, hanno meno connessioni trasversali e tendono a usare un solo emisfero per volta; nel loro cervello le connessioni corrono soprattutto dalla fronte alla nuca lungo lo stesso emisfero.

Possiamo dire, in linea di massima, che l'uomo possiede un cervello che segue schemi logici più basati sulla razionalità, mentre nella donna il funzionamento cerebrale sarebbe maggiormente di tipo intuitivo, e che nell'uomo il funzionamento dei circuiti nervosi è più rigido mentre è più duttile nella donna.

Tutto questo spiegherebbe come le donne siano notoriamente più brave nel *multitasking*, ovvero nel fare più cose insieme, realizzino una migliore analisi dei problemi, abbiano migliori abilità sociali, siano più intuitive, dimostrino maggiore empatia, siano più sensibili alle espressioni del viso e abili nel comprendere stati d'animo e umore altrui. Da uno studio di risonanza magnetica, è emerso che le donne posseggono fra 14 e 16 aree del cervello destinate alla valutazione del comportamento degli altri, mentre gli uomini ne hanno soltanto da 4 a 6.

I maschi, invece, eccellono nelle attività motorie, dove si impiegano i muscoli, e sono più capaci di analizzare lo spazio, a orientarsi, a capire le mappe. L'unica area in cui gli uomini dimostrano una maggiore connettività è il cervelletto, quella parte dell'encefalo legata al controllo dei movimenti.

Passiamo adesso ai neuroni. Si calcola che il numero dei neuroni della corteccia cerebrale sia di 19,3 miliardi nelle donne e di 22,8 miliardi negli uomini.

Pur avendo le donne, globalmente, un minor numero di neuroni, possiedono tuttavia aree cerebrali con almeno il 10 per cento di neuroni e connessioni in più. I moderni studi di *neuroimaging* (RM, RM funzionale eccetera) hanno riscontrato una maggiore densità neuronale in aree della corteccia cerebrale femminile collegate con la parola. Adesso capisco perché, se io e mia moglie chiamiamo due nostri amici per fare la stessa comunicazione, la conversazione tra me e il mio amico dura un minuto e quella tra mia moglie e la sua amica ne dura come minimo venti! Probabilmente la maggiore tendenza delle donne nel corso dell'evoluzione alle attività comunicative ha dotato il loro cervello di molti milioni di neuroni in più in queste aree. La spiegazione può essere individuata nella differenziazione dei ruoli che risale all'origine della nostra specie. Mentre gli uomini andavano a caccia in piccoli gruppi, muovendosi furtivi nella savana per non spaventare gli animali, le donne si riunivano nei villaggi per badare ai bambini e chiacchieravano animatamente.

Altre aree più sviluppate nelle donne sono l'ippocampo, principale centro di formazione dei ricordi, e le aree delle emozioni. Ciò spiega perché, in media, le donne abbiano maggiore facilità nell'esprimere verbalmente le emozioni e nel ricordare i dettagli degli eventi che le

suscitano, e stringono rapporti emotivi e legami affettivi molto più solidi dei maschi. Il cervello femminile, inoltre, è assai dotato nel valutare con rapidità i pensieri, le convinzioni e le intenzioni altrui basandosi sugli indizi apparentemente più insignificanti.

Una differenza importante per le ripercussioni funzionali che ne possono derivare è quella relativa a un'area considerata la custode delle emozioni, l'amigdala, il centro cerebrale della paura, della rabbia, dell'aggressività, maggiormente rappresentata negli uomini che nelle donne.

Ma, al di là delle dimensioni, nei due generi l'amigdala funziona in modo molto diverso.

Il motivo per cui le donne ricordano meglio i dettagli relativi alle emozioni è in parte legato al fatto che l'amigdala femminile viene attivata più facilmente dalle sfumature emotive. Sappiamo che più forte è la risposta dell'amigdala a un'esperienza che ci colpisce, più particolari l'ippocampo registrerà per conservare quell'esperienza nella memoria. Poiché le donne hanno un ippocampo relativamente più grande, riescono a ricordare i minimi dettagli delle esperienze emotive, i loro primi appuntamenti e le liti più feroci; gli uomini si ricordano a malapena che quei fatti abbiano avuto luogo, non per superficialità, e questa volta mi metto dalla parte degli uomini, ma per la diversità dell'amigdala e dell'ippocampo nei due generi.

Altro dato importante è che, nel cervello femminile, il circuito dell'emotività e della paura oltre che essere più strettamente connesso a funzioni cognitive ed emozionali è, rispetto a quello maschile, maggiormente connesso a funzioni verbali. Nell'uomo, invece, l'amigdala, che è una delle aree più primitive del cervello, mantiene soprattutto le sue funzioni più ancestrali, quelle che registrano le paure e scatenano l'aggressività; l'amigdala maschile possiede inoltre molti recettori per il testosterone, che tendono a stimolare e potenziare questa risposta.

Per questi motivi, di fronte a una situazione di stress o di ira, la donna attiva il sistema limbico, cioè i circuiti emotivi, e insieme a questo le aree del linguaggio, e la reazione tende ad avere una connotazione affettiva e verbale; l'uomo, invece, attiva la corteccia prefrontale e la risposta tende a essere prevalentemente motoria e orientata all'azione fisica. Ecco perché molti uomini possono arrivare a uno scontro fisico in

pochi secondi, mentre molte donne fanno di tutto per evitare un conflitto.

Anche in queste differenze di comportamento tra i due generi possiamo ritrovare una spiegazione evoluzionistica: di fronte a un pericolo la donna doveva proteggere la prole, rassicurarla con le parole, sedare i conflitti, cercare alleanze con le altre donne del clan se gli uomini erano assenti; compito dell'uomo era procurare il cibo con la caccia, oppure aggredire e abbattere l'eventuale aggressore. Per questi motivi, in genere, in un diverbio con una donna l'uomo può dimostrare meno scioltezza verbale e non riuscendo a tenerle testa con la dialettica, può essere spinto dai suoi circuiti cerebrali a una reazione rabbiosa e aggressiva.

Da un'esasperazione di questa differente fisiologia della risposta all'ira possono discendere alcuni comportamenti irrazionali che ci sconvolgono. Di fronte a una violenta lite, la donna reagisce piangendo e parlando, l'uomo aggredisce. Questo potrebbe essere alla base di tanti contrasti che degenerano in *femminicidio*. Parimenti abbiamo visto come in una situazione di allarme la donna tenda a rinchiudersi in se stessa, nel nucleo familiare che deve proteggere. L'amplificazione di questo istinto protettivo potrebbe essere invece alla base dei casi di *infanticidio*, visto come distorsione perversa dell'istinto a proteggere la prole davanti a un pericolo, talvolta solamente immaginato!

Come tutti capiamo, l'esistenza di un meccanismo biologico non può in alcun modo giustificare comportamenti in contrasto con le regole della nostra vita sociale e di ciò che ci caratterizza come esseri razionali. Per questo, pur avendo gli stessi circuiti degli animali inferiori, esercitiamo un'azione di controllo su questi con la corteccia prefrontale, con la nostra razionalità, con i fondamenti morali della coscienza, sulla base della nostra indole, dell'educazione che abbiamo ricevuto e della consapevolezza delle norme che regolano i comportamenti sociali.

Gli ormoni sessuali giocano un ruolo determinante nelle differenze di genere di cui vi ho parlato. Le prime differenze cerebrali si manifestano già a partire dall'ottava settimana di sviluppo fetale, in conseguenza dell'inizio di quell'attività ormonale che condizionerà per il resto della vita i sistemi neuronali di maschi e femmine. L'afflusso di testosterone indirizzerà verso un cervello maschile, in caso contrario il cervello acquisirà una struttura femminile; nei maschi si svilupperanno

maggiormente le cellule dei centri del sesso e dell'aggressività, nelle donne si produrranno già da allora più connessioni nei centri della comunicazione e nelle zone che elaborano le emozioni. È questo bivio della vita fetale che determina il destino biologico di ognuno, reso ancora più evidente e indirizzato al momento della caratterizzazione ormonale che si avrà alla pubertà.

La secrezione di estrogeni che si ha nelle bambine fin dall'età infantile è necessaria a stimolare lo sviluppo delle ovaie e del cervello a scopi riproduttivi; allo stesso tempo stimola lo sviluppo di circuiti cerebrali differenti, sollecita la crescita di neuroni, incrementa ulteriormente i centri deputati all'osservazione, alla comunicazione e perfino alla protezione. In questo modo si preparano i circuiti cerebrali femminili, in modo che le bambine imparino a cogliere le sfumature dei rapporti sociali e possano dare impulso alla propria fertilità.

Le ragazze, non essendo influenzate dal testosterone ma governate dagli estrogeni, preferiscono evitare gli attriti perché la discordia le mette in conflitto con il loro bisogno di restare in armonia con gli altri. I maschi non si preoccupano del rischio dei conflitti: la competizione fa parte della loro costituzione. Il cervello dei bambini, plasmato dal testosterone, non cerca affatto il legame sociale come quello delle bambine.

Un'altra differenza importante tra i due cervelli, nell'adolescenza, è che quello delle ragazze matura più in fretta che nei maschi, facendole così progredire più rapidamente verso la maturazione dei circuiti cerebrali, con due o tre anni di anticipo.

Essere donna, però, è un fattore di rischio per deficit cognitivi e demenza. Non solo perché la donna vive di più, ma perché ci sono dei meccanismi ancora poco conosciuti di tipo genetico e ormonale che determinano una peggiore evoluzione degenerativa nel cervello. Secondo la scienza i cervelli delle donne sono più vulnerabili.

Uno di quei momenti che marcano drammaticamente la differenza tra un uomo e una donna è la maternità. Un uomo può solo intuire cosa possa provare una donna in gravidanza e come il suo cervello possa reagire alla presenza di un bimbo che dal suo corpo trae la vita.

La maternità è stata alla base di una delle mie esperienze professionali più drammatiche, ma forse anche più belle, la cui

protagonista è stata una giovane donna, Alessia.

Da qualche mese Alessia soffriva di cefalea, inizialmente sopportabile ma poi sempre più intensa. Il mal di testa era cominciato al terzo mese di gravidanza. Le dissero di aspettare almeno il quinto mese prima di fare una risonanza magnetica dell'encefalo. Nel frattempo, alla cefalea si erano associati altri problemi neurologici, un'alterata sensibilità al viso, una difficoltà a trovare le parole, un deficit di forza, un iniziale sdoppiamento della vista.

Lo studio dall'encefalo mostrò un quadro veramente drammatico: un enorme tumore nasceva dalla fossa temporale di sinistra e cresceva in profondità, dislocando e comprimendo strutture cerebrali importantissime.

Bisognava rimuovere quella compressione presto, prima che i danni diventassero veramente gravi. Ma non si poteva sottoporre Alessia a un intervento delicato e complesso mentre aveva un bambino in pancia; i rischi per tutti e due sarebbero stati enormi. Non si poteva neanche cercare di far nascere il bambino prima dei sette mesi; gli organi, ancora immaturi, non avrebbero consentito una sopravvivenza. Il dilemma era scegliere tra la madre e il bambino, e non era semplice.

La risposta su cosa fare venne da Alessia: «Voglio essere operata fra due mesi, anche se rischio di soffrire ancora di più, anche se rischio di morire, ma non voglio perdere il mio bambino». E così fu.

Furono due mesi intensi e a forte rischio. Tutte le mattine si faceva il punto della situazione: si valutava lo stato di Alessia, il suo quadro neurologico, la sua sofferenza, sperando di non cogliere nessun segno che potesse indicare un momento di non ritorno. E nello stesso tempo si monitorava il bambino.

Finalmente quei due lunghi mesi passarono. Alessia poté essere sottoposta a un cesareo e vide nascere la sua creatura.

Ma nel frattempo i dolori e i segni di sofferenza cerebrale erano aumentati. Alessia si lamentava sempre più e tendeva a dormire. Il tronco cerebrale era compresso, il cervello era in edema. Però adesso potevamo intervenire.

Dopo una verifica dello stato clinico generale, si programmò l'intervento chirurgico. Alessia era molto fiduciosa; metà del suo programma era riuscito, il bambino era nato. Anche il resto sarebbe andato bene.

All'apertura del cranio, ci si presentò un quadro estremamente complesso e pericoloso. L'anatomia appariva fortemente sovvertita dal grosso tumore che avvolgeva tutto, nervi e arterie, e aderiva fortemente all'encefalo. Staccarlo avrebbe comportato possibili emorragie, lesioni nervose, danni cerebrali. Cominciammo a rimuoverlo in pezzi. Sanguinava tanto e si approfondiva sotto le strutture cerebrali, dove era difficile arrivare. Ogni tentativo di trazione rischiava di procurare dei danni oppure era seguito da sanguinamenti che ci impegnavano per un tempo che ci sembrava non finisse mai. Si procedeva con una lentezza snervante; ogni più piccola manovra richiedeva dissezioni, liberazione di nervi o di arterie, rischi di danni che avrebbero potuto rovinare la vita di Alessia.

E fu proprio il pensiero di Alessia, giovane, bella, innamorata della vita e della sua nuova famiglia, che, a un certo punto, mi fece fermare.

Mentre si opera vengono tanti pensieri. Si può pensare alle cose più strane, ma poi la mente torna sempre al paziente che si sta operando e alla difficoltà che l'intervento può presentare. Si riflette sul fatto che si sta lavorando su un tessuto fragile, molliccio, che lo si può danneggiare con qualunque gesto sbagliato. Ma poi si va avanti perché si sa che si sta cercando di far guarire una persona; che la valutazione dei rischi e dei benefici, fatta in precedenza, presenta un bilancio nettamente a favore dell'intervento.

Nel caso di Alessia, per la prima volta, a causa delle difficoltà enormi che stavamo incontrando, sentii il bisogno di fermarmi e di riflettere. Mi chiedevo: e se non si sveglia dall'intervento, o se si sveglia fortemente menomata? Cosa sarebbe stato di tutti i suoi sogni? Non era forse meglio fermarsi, interrompere l'intervento e permetterle una vita anche breve con suo figlio, piuttosto che rischiare che non avesse nessuna vita e che il figlio non potesse più neanche guardarlo? Il tumore era così difficile da togliere che in quel momento mi sembrava un'operazione disperata, non realizzabile. Ma d'altro canto eravamo già giunti a metà intervento. Ancora un po' e c'era la possibilità che saltasse fuori una soluzione, una via che ci permettesse di rimuovere quel tumore mescolato al tessuto sano.

Decidemmo di andare avanti e ricominciammo lentamente a portar via un piccolo pezzo dopo l'altro. Il tempo passava, ma un po' alla volta i tessuti sani si liberavano, le arterie ritornavano a pulsare liberamente e

il tessuto sano cominciava a essere decompresso. E finalmente, anche l'ultimo frammento di tumore fu rimosso. Erano passate tredici ore da quando avevamo cominciato. Avevamo attraversato momenti di sconforto, ma la strada era stata percorsa tutta.

A quel punto cominciammo una ricognizione della cavità che aveva accolto il tumore, per verificare l'entità dei danni e capire cosa sarebbe potuto succedere ad Alessia al risveglio. Incredibilmente, la delicatezza con cui avevamo toccato e dissecato i tessuti aveva permesso di lasciare integre e indenni le strutture nervose su cui avevamo lavorato per tante ore. Adesso bisognava soltanto che il cervello recuperasse dallo stato di sofferenza in cui versava da mesi. Ma a questo avrebbe pensato la natura. Noi oramai dovevamo soltanto chiudere.

Il decorso postoperatorio fu inaspettatamente breve e Alessia, in pochi giorni, poté ricominciare a preoccuparsi del suo piccolo bimbo e seguirne la crescita, fino a quando, entrambi, furono in grado di lasciare l'ospedale.

La guardammo andare via, commossi, ma sapendo che il nostro lavoro non finiva lì e che altre storie, come quella di Alessia, ci avrebbero presto nuovamente coinvolti.

Il caso successivo, per l'appunto, ci si presentò dopo pochissimo tempo.

Arianna, anche lei giovanissima, giunse da me perché, nel corso di uno screening consigliato dalla sua ginecologa in vista del matrimonio e di una gravidanza che con il futuro marito desideravano tanto, era stata evidenziata la presenza di una massa localizzata nel talamo di sinistra.

Il talamo è una struttura di grande importanza. È nascosto nella profondità della corteccia, quasi al centro dell'encefalo. Solitamente i tumori di questa regione sono considerati inoperabili sia per le difficoltà che si incontrano per raggiungerli sia perché il talamo ha funzioni importanti che coinvolgono le facoltà più nobili del cervello, la coscienza, la memoria e tante altre.

Come abbiamo visto molte volte lungo le storie di questo libro, molte regioni cerebrali, sia per la loro rilevanza sia per le difficoltà tecniche che un intervento comporterebbe, sono considerate inoperabili. Lo stesso era per il tumore di Arianna. E questo era stato il parere dei tanti medici che l'avevano visitata: inoperabile!

Arianna giunse da me disperata. Non poteva credere che, senza che

alcun segnale le avesse mai fatto sospettare qualcosa, il suo mondo fosse andato in pezzi in quel modo. Aveva desiderato fortemente sposarsi e avere dei figli; e a un tratto tutto era finito.

Simone, il ragazzo che avrebbe dovuto sposare, era con lei e assisteva, muto, alla sua disperazione. Erano talmente belli e giovani entrambi che sembrava impossibile vederli così affranti.

Ero imbarazzato anch'io. Non avevo una risposta chiara. Ma prima di rimandarli dicendo no, come avevano fatto tutti gli altri, volevo riflettere e studiare bene il caso. Dissi loro che li avrei rivisti la settimana dopo, che la malattia presentava elementi di particolare complessità e prima di dare un parere volevo avere le idee chiare.

In quella settimana pensai molto ad Arianna e Simone. Non appena potevo, mettevo sul mio computer le immagini del tumore talamico e simulavo le possibili vie di approccio, cercando di immaginare quali strutture cerebrali si sarebbero attraversate, per vedere di individuarne una che ci permettesse di raggiungere il tumore con relativa sicurezza. Il principio su cui mi basavo nel mio tentativo era che, se Arianna stava bene, se non evidenziava alcun sintomo, voleva dire che il tumore, di per sé, non stava danneggiando il talamo e che quindi, se fossimo riusciti a raggiungerlo per una via sicura e a toglierlo senza creare ulteriori danni, avremmo potuto fare un intervento con un sufficiente grado di sicurezza. Essendo a sinistra, dovevamo anche evitare di attraversare aree o fibre coinvolte nelle funzioni del linguaggio.

Ne parlai con i miei collaboratori e alla fine trovammo il percorso giusto.

Arianna accettò immediatamente l'intervento. Ma c'erano alcune cose che per lei venivano prima. Innanzitutto sposarsi. L'intervento si sarebbe fatto dopo.

Riuscirono a organizzare un matrimonio in poco tempo e si sposarono a Roma, in una chiesa molto bella, famosa anche perché piena di lampadari.

Subito dopo si ricoverò in ospedale. E dopo pochi giorni ci fu l'intervento. Seguimmo la traiettoria studiata e tracciata dal navigatore e, in profondità, individuammo il tumore. Cominciammo la rimozione utilizzando un aspiratore a ultrasuoni, che lentamente frantumava e aspirava il tessuto malato. Dopo che la parte chiaramente patologica fu rimossa, arrivammo su un tessuto dubbio. Spesso nell'operare un tumore

primitivo del cervello succede di raggiungere dei punti di passaggio tra tumore e tessuto sano e spesso non si riesce a individuare la natura esatta di questo tessuto. In questi casi, chiaramente, se non vi sono certezze, non si può rischiare di rimuovere tessuto sano; in particolare in questo caso. Se le avessimo tolto una parte di talamo funzionante tutti i nostri programmi e le nostre supposizioni si sarebbero vanificate, e ad Arianna avremmo rovinato il futuro. A quel punto ci fermammo.

Arianna si risvegliò dall'anestesia senza deficit. Non appena fu possibile effettuammo una nuova risonanza magnetica e trovammo ciò che purtroppo temevamo. La porzione più profonda del tumore era rimasta; quel tessuto di natura dubbia, davanti al quale c'eravamo fermati, era tessuto tumorale.

Ma non bisognava perdersi d'animo, la maggior parte del tumore era stata asportata e il piccolo residuo si sarebbe potuto trattare con una radioterapia. Dopo esserci informati, si decise che la procedura migliore era sottoporre Arianna a un trattamento con protoni, una delle forme più avanzate di radioterapia.

E a questo punto scattò il senso per la maternità di Arianna. Era contraria a qualunque trattamento radiante perché questo avrebbe potuto compromettere la gravidanza che desiderava.

Per fortuna la scienza ci permise di ovviare a questo intoppo. Le forme attuali di radioterapia focalizzata, la cosiddetta radiochirurgia, permettono di evitare problemi per una gravidanza successiva.

Si procedette, quindi, al trattamento con protoni. L'effetto delle radiazioni provocò la comparsa di una lieve paresi del suo lato destro, che scomparve in poche settimane.

Adesso la risonanza magnetica è negativa, Arianna e Simone son potuti partire per un meritato viaggio di nozze in isole lontane e un giorno verrà anche il momento della maternità.

I meccanismi del cervello femminile non sono cambiati molto in un milione di anni, ma le sfide che le differenti fasi della vita pongono oggi a una donna ne stanno mutando profondamente e rapidamente il ruolo nella società e, di conseguenza, i ritmi fisiologici. Ma cambierà anche il loro cervello?

All'inizio dell'epoca moderna le donne, in Europa, cominciavano ad avere figli a 16-17 anni e continuavano fin verso i 30. Oggi, quando

entra in gioco il cervello materno, le donne sono del tutto assorbite dalla propria carriera e si trovano ad avere bambini che scorrazzano per casa nel momento in cui devono affrontare gli alti e i bassi della menopausa.

Un secolo fa la menopausa era un fenomeno relativamente raro. Alla fine del XIX secolo e all'inizio del XX secolo, negli Stati Uniti, l'età media delle donne era di 49 anni, molto vicino a quando si verifica comunemente l'ultima mestruazione. Oggi le donne possono aspettarsi di vivere parecchi decenni dopo aver superato tale soglia e debbono quindi confrontarsi con una situazione ormonale e cerebrale prima sconosciuta.

Il diverso ruolo sociale che oggi le donne hanno acquisito è certo un altro importante parametro che influenzerà i loro lobi frontali, la loro amigdala e le loro reazioni allo stress, modificando ulteriormente l'insieme dei circuiti cerebrali.

È probabile che, in un futuro non molto lontano, i due cervelli, quello maschile e quello femminile, per adattarsi alle nuove condizioni di ruoli che si stanno rapidamente determinando, saranno diventati diversi da quello che sono oggi.

Scrive Charlotte Bronte in *Shirley*: «Se gli uomini potessero vederci come realmente siamo, sarebbero alquanto sorpresi».

Mentre un anonimo, certamente di sesso femminile, afferma: «Le donne sanno bene che gli uomini non sono così stupidi come si crede: lo sono di più!».

# 14
# Cervello e cuore.
# Il pensiero e il battito alla base dell'equilibrio della vita

*Rare sono le persone che usano la mente, poche coloro che usano il cuore, e uniche coloro che usano entrambi.*

Rita Levi Montalcini

Il cervello funziona perché il cuore spinge sangue nelle arterie e perché queste lo irrorano, portandogli ossigeno e glucosio per il metabolismo, cioè per l'insieme di reazioni biochimiche che liberano energia e gli permettono di lavorare. La mancanza di sangue, anche solo per pochi minuti, può eliminare in pochissimo tempo una funzione neurologica

importante. È quello che succede quando si verifica un ictus cerebrale, cioè quando un trombo partito dal cuore o dai grossi vasi del collo chiude un vaso, impedendo al sangue di proseguire e raggiungere le cellule nervose di quell'area; oppure quando il cuore si arresta.

Nella mia vita mi sono occupato molto di chirurgia vascolare e in particolare di aneurismi cerebrali. Si tratta di malformazioni vascolari consistenti in piccoli sfiancamenti della parete di un'arteria che, per la pressione del sangue, si trasformano in estroflessioni simili a piccoli palloncini dentro cui il sangue circola vorticosamente e le cui pareti si indeboliscono sempre più, fino a rompersi, provocando un'emorragia che può essere fatale.

Operare un aneurisma è forse la più entusiasmante delle chirurgie, il più straordinario degli esercizi tecnici. Poiché gli aneurismi sono sempre nella profondità del cranio, per raggiungerli bisogna farsi strada staccando i lobi cerebrali l'uno dall'altro, aprendo una membrana che li tiene uniti, l'aracnoide, ma senza danneggiare né il tessuto cerebrale né i vasi che si incontrano. Quando si raggiunge l'aneurisma è importante distaccarlo dai vasi che gli corrono attorno, eliminando aderenze pericolose, usando strumenti sottilissimi, con una costante paura che la fragile parete, attraverso cui con terrore si vede il sangue vorticare, possa rompersi inondando il campo operatorio in un fiume di sangue che scorre a pressione. Quando, alla fine, si è liberato l'aneurisma e si sono controllati tutti i suoi rapporti con i vasi vicini, l'intervento diventa semplice: si tratta di porre una piccola pinzetta metallica, una *clip*, sul colletto della malformazione e in questo modo escluderla dal flusso sanguigno evitandone la rottura. Se il colletto è piccolo, l'intervento si risolve rapidamente; ma se il colletto è largo o se l'aneurisma è grande, con pareti sclerotiche, l'apposizione della clip, il cosiddetto *clipping* dell'aneurisma, può rivelarsi più complicato e pericoloso. Talvolta può essere necessario togliere e mettere più volte la clip, delicatamente, per trovare la posizione migliore, senza danneggiare l'aneurisma o il vaso da cui questo parte. Il chirurgo, mentre opera, sa che se l'aneurisma si rompe l'intervento si complica e le difficoltà aumentano. Soprattutto sa che aumentano i rischi per il paziente.

Una delle ultime pazienti da me operate aveva un aneurisma gigante della divisione intracranica della carotide e per raggiungerlo bisognava scendere nella profondità di una scissura che separa il lobo frontale dal

lobo temporale, a sinistra.

Cominciammo l'intervento posizionando il microscopio e incidendo l'aracnoide che tiene uniti i due lobi. La visione del cervello con il microscopio chirurgico è straordinaria. Si lavora con ingrandimenti che vanno da 25 a 40 volte la normale visione e il cervello ci mostra immagini bellissime. Le arterie rosse e le vene blu si proiettano sul giallo della corteccia, appena coperti dal velo grigiastro dell'aracnoide. A mano a mano che si apre la scissura, si vedono le grosse arterie che dalla profondità vengono in superficie, con pulsazioni che sembrano amplissime. Sono i grossi rami della cerebrale media, quelli che portano il sangue alle aree del linguaggio e alle aree della corteccia motoria. Un loro danneggiamento può avere conseguenze disastrose per il paziente. Qualche volta è utile poggiare una microscopica sonda doppler sui vasi per valutarne la pervietà: si sente il rumore del sangue che passa, come un soffio di vita che sfiora i nostri ferri chirurgici per raggiungere e far vivere le cellule cerebrali. È come essere spettatori del miracolo della vita: il cuore pulsa e a ogni contrazione spinge sangue lungo le arterie, e da queste a tutti gli organi, seguendo un flusso capillare che nutre ogni singola cellula. Senza il battito del cuore e senza quel passaggio di sangue, tutto, la coscienza, la memoria, i sentimenti, le passioni, in pochi attimi sarebbero scoloriti per scomparire per sempre.

Raggiunta la profondità della scissura, individuammo il nervo ottico, piccolo cordone bianco che sbuca dal forame ottico, al fondo dell'orbita, per dirigersi verso la parte posteriore della testa; accanto al nervo ottico si riconosceva la carotide, un cilindro un po' più grande, rossastro, pulsante, attraverso cui il sangue che fa funzionare la nostra mente entra dentro il cranio. Un po' più verso di noi, a un centimetro dalla base cranica, dove la carotide si divide in due rami, si stagliava il grosso aneurisma, un grande mostro rosso dalle ampie pulsazioni, che dava l'impressione di poter esplodere da un momento all'altro e spargere un'enorme quantità di sangue, ad alta pressione, tra le strutture cerebrali.

Guardando direttamente un aneurisma si capisce quanto possa essere disastrosa una sua rottura e quanto sia importante diagnosticarlo e trattarlo prima che si verifichi un'emorragia. Un lavoro scientifico multicentrico italiano, che ho avuto l'onore di coordinare insieme al mio carissimo amico, purtroppo oggi non più tra noi, Massimo Collice, primario del Niguarda di Milano, ha dimostrato, inequivocabilmente, che

trattare un aneurisma quando ancora non ha dato un'emorragia migliora la prognosi naturale di queste terribili, e spesso subdole, patologie. Per questo, ogni volta che vedo un paziente con un aneurisma intatto, diagnosticato casualmente, cerco di convincerlo che è bene trattarlo. Nella mia esperienza di neurochirurgo ho visto troppe persone giungere in pronto soccorso con un cervello devastato da un aneurisma che si era rotto!

Ma torniamo al nostro intervento. Una volta raggiunto l'aneurisma e isolato il largo colletto, ritenni pressoché finito l'intervento; sarebbe bastato mettere la clip e in questo modo isolare la sacca dal flusso di sangue e rendere non più possibile una sua rottura. E così feci: applicai una grossa clip ed esclusi l'aneurisma. La sacca non pulsava più e i due grossi vasi che nascevano dalla carotide erano perfettamente pervi e pulsanti; tutto come doveva essere. Come sempre facciamo, mi accingevo a verificare con la sonda doppler e con un'angiografia intraoperatoria che tutto fosse stato eseguito correttamente, quando la neurofisiologa che controllava i potenziali motori della paziente, e cioè verificava costantemente che gli impulsi partiti dalle cellule della corteccia motoria arrivassero correttamente ai muscoli degli arti, ci disse in modo allarmato che ogni attività motoria dal lato destro della paziente era scomparsa. Voleva dire che, per qualche motivo, si stava verificando un danno alle vie motorie e che queste non funzionavano più. Se tutto fosse rimasto così, la paziente si sarebbe svegliata emiplegica.

Immediatamente modificai l'orientamento del microscopio per controllare la posizione della clip e cercare di capire cosa potesse essere successo, e risolverlo in fretta, prima che il danno cerebrale diventasse irreversibile. Capimmo che la presenza di placche calcifiche sulla parte posteriore del colletto aveva provocato lo scivolamento della clip metallica e che le sue punte erano andate a chiudere una piccolissima arteria, nascosta sotto la carotide e chiamata *corioidea anteriore*. La sua funzione è quella di portare sangue a un'area profonda, la *capsula interna*, costituita dall'insieme di fibre che dalla corteccia motoria vanno al tronco dell'encefalo e poi al midollo spinale, per trasmettere ai muscoli gli impulsi che li fanno muovere. Il volume dell'aneurisma copriva la piccola arteria e non ci aveva permesso di vedere che la clip, pizzicandola con le punte, la chiudeva.

Immediatamente, in modo molto delicato per non far esplodere

l’aneurisma, rimossi la clip e dopo pochi secondi i potenziali motori ritornarono. Riprovai a chiudere di nuovo il colletto ma, ancora una volta, non appena stretta la clip, i potenziali scomparivano di nuovo. Penso che una dimostrazione come questa del rapporto strettissimo tra funzioni cerebrali e apporto di sangue sia difficile da ottenere.

A quel punto fu necessario cambiare tattica, bisognava sgonfiare la sacca dell’aneurisma e avere una migliore visibilità delle strutture più profonde. Decidemmo di mettere una clip temporanea sulla carotide, così da bloccare il flusso di sangue dentro l’aneurisma che si trasformò in un sacchetto floscio e vuoto; questo permise di applicare la clip controllandone con esattezza la posizione ed evitando di chiudere la piccola arteria, adesso perfettamente visibile. Naturalmente tutto dovette essere fatto in un lasso di tempo ridottissimo per evitare che la chiusura della carotide determinasse un’estesa ischemia cerebrale. Alla fine tutto andò bene e la paziente si risvegliò senza alcun deficit.

Il caso che ho raccontato dimostra come sia importante l’apporto di sangue e quanto i neuroni siano fragili. Ma dimostra anche che, se si ripristina rapidamente il flusso ematico, i neuroni possono recuperare del tutto la loro funzione.

L’abilità del chirurgo, quando opera un aneurisma, deve consistere in due cose: dissecare con estrema delicatezza la parete dell’aneurisma, come se fosse un vaso di delicatissimo cristallo e, se il palloncino si rompe, come può succedere per la fragilità della sacca, soprattutto se l’aneurisma si è già rotto, non perdere il sangue freddo, dominare la situazione e fermare il sanguinamento senza chiudere i vasi buoni che vanno al cervello. Un chirurgo che non riesce ad avere la freddezza e l’abilità di dominare un’emorragia non è un buon chirurgo e rischia di perdere il paziente.

L’intervento per un aneurisma è uno di quegli interventi che danno più soddisfazione. La riuscita dipende strettamente dalla perfezione tecnica con cui l’intervento viene eseguito. Se l’aneurisma è chiuso senza danni, la malattia è debellata e il paziente guarito.

Dopo un intervento come quello che ho descritto ci si sente felici ma svuotati. Avevo fatto il mio dovere, quello per il quale avevo studiato tanti anni, per il quale ero andato in giro per il mondo per veder operare i migliori neurochirurghi e imparare da loro, quello per cui mi ero preparato. Tuttavia, la battaglia non era ancora vinta. Durante la notte,

indipendentemente dal risultato tecnico raggiunto, poteva ancora verificarsi una complicazione, un'emorragia tardiva, una crisi epilettica, un vasospasmo, cose che potevano vanificare tutto il lavoro fatto e danneggiare il cervello. Per questo, malgrado le tante migliaia di operazioni fatte, affronto ogni intervento con la massima attenzione, come se fosse la prima volta, come se dalla perfezione o meno di ogni gesto dipendesse la qualità della vita della persona che è sotto i ferri.

Il chirurgo sa che il risultato si vedrà l'indomani, ma sa anche che il giorno dopo ci saranno così tanti altri problemi che non sarà possibile bearsi a lungo del risultato!

Voglio ancora parlarvi brevemente di un altro caso clinico dall'evoluzione bizzarra e insolita, ma efficace per far capire come l'apporto di sangue sia cruciale per alcune importanti funzioni cerebrali. Riguarda una giovane donna giunta da noi per una patologia che di solito colpisce le persone anziane, cioè una trombosi dell'arteria che irrora le aree del linguaggio.

La paziente, nata in Francia, era stata portata da piccola in Italia. Parlava quindi fluentemente il francese e l'italiano. A seguito della trombosi aveva perduto completamente il ricordo della lingua italiana e riusciva a esprimersi solamente nella sua lingua natale, il francese. Era lei la prima a stupirsi che le frasi le venissero in francese e che trovasse una grossa difficoltà a parlare l'italiano.

Per curarla decidemmo di irrorare quella parte di tessuto cerebrale colpito dalla trombosi facendo un intervento di by-pass vascolare extra-intra cranico, consistente nel deviare verso il cervello un po' del sangue che serve a irrorare una parte meno nobile, il cuoio capelluto. L'operazione è concettualmente semplice ma tecnicamente delicata: consiste nel suturare, con un filo talmente sottile da non essere visibile a occhio nudo, l'arteria temporale superficiale, quell'arteria che sentiamo quando poggiamo un dito davanti all'orecchio, su un vaso cerebrale. L'intervento riuscì bene e il controllo post-operatorio evidenziò l'aumento di sangue nelle aree colpite dalla trombosi.

Dopo pochi giorni, quando durante la visita mi rivolsi alla paziente in francese, lei mi guardò stupita chiedendomi perché non le parlassi in italiano, visto che il suo era un italiano perfetto. Nessuno può sapere con certezza che cosa era successo in quel cervello, a seguito dell'ischemia,

da azzerare tutti i circuiti cerebrali costruiti attorno alla conoscenza della lingua italiana; né in che modo l'intervento di rivascolarizzazione era stato in grado di riattivarli interamente. Certo è che l'aumentato apporto di sangue modificò positivamente milioni, se non miliardi, di funzionalità sinaptiche e fece nuovamente girare per il verso giusto una serie di circuiti neurali che la mancanza di sangue aveva fatto inceppare.

Cervello e cuore, per le loro funzioni, possono essere considerati tra gli organi più importanti del nostro organismo. Essi sono intimamente legati da una serie di interrelazioni, essenziali per la sopravvivenza di entrambi.

È il cervello che permette al cuore di battere: in una parte del tronco dell'encefalo, chiamata *bulbo*, risiedono i centri che controllano l'attività del cuore. Una lesione di queste aree può comportare la morte per arresto cardiaco. L'importanza di quest'osservazione la sperimentiamo spesso in sala operatoria; certi interventi per rimuovere un tumore del cervello possono richiedere manipolazioni in prossimità del bulbo e, in conseguenza di ciò, possono verificarsi repentini e gravi cali del battito cardiaco. Il chirurgo all'improvviso sente rallentare il *bip bip* che indica la sequenza dei battiti e allora arresta immediatamente le manipolazioni del tessuto cerebrale, facilitando la ripresa dell'attività cardiaca; dopo qualche minuto l'intervento può proseguire. Altro esempio: molti di noi hanno assistito al soccorso d'urgenza di un atleta che, in un campo di calcio o durante un incontro di boxe, in conseguenza di un severo trauma cranico, subisce una commozione cerebrale e perde coscienza; qualche volta anche il suo cuore si ferma per qualche attimo, non perché abbia subito un danno, ma perché i centri cerebrali che ne regolano la funzione sono stati messi temporaneamente fuori uso. Il pronto intervento di un medico che sottopone l'atleta a un massaggio cardiaco consente al cuore di rimanere attivo per tutto il tempo in cui i centri cerebrali che lo regolano sono in tilt, in attesa che questi riprendano il loro normale funzionamento e il cuore riprenda a battere sotto il corretto comando del cervello.

L'altra faccia dell'interazione tra questi due organi è che è al cuore, più che a qualunque altro organo, il cervello è intimamente legato da un rapporto di strettissima dipendenza.

Il cervello funziona bene perché il cuore, con la sua azione, mantiene

un flusso di sangue costante permettendogli di svolgere tutte le sue complesse funzioni. Una qualunque alterazione cardiaca può diventare causa di un danno cerebrale. Per esempio, un'aritmia cardiaca può provocare la formazione di emboli che, bloccando il flusso ematico in piccoli vasi che nutrono le aree cerebrali, diventano la causa di un ictus. Se il cuore si ferma, i neuroni cerebrali dopo pochi minuti muoiono.

Da un punto di vista puramente anatomico e funzionale il cervello è sempre stato considerato l'organo nobile, sede di miliardi di cellule e di milioni di miliardi di connessioni, dove si concentrano e realizzano le funzioni più complesse e intellettualmente più importanti dell'uomo, come il raziocinio, l'inventiva, la parola e l'ingegno. Il cuore, invece, è stato spesso considerato un organo puramente meccanico, un muscolo, un gregario potremmo dire, con la sola funzione di mantenere il buon sostentamento dell'organo leader, il cervello.

Ma se consideriamo quanto lavora il cuore per il cervello, allora possiamo rivalutare l'importanza di questo gregario. Il cervello, abbiamo detto, è un organo estremamente complesso, un piccolo mondo organizzato alla perfezione, che per vivere necessita di sostentamento. Il sostentamento gli viene dal sangue che spinto dal cuore circola in modo costante nei vasi che lo irrorano. Nel sangue i neuroni trovano tutto quello che serve perché il loro metabolismo funzioni, gli zuccheri, i grassi, le vitamine eccetera.

Il cuore, da parte sua, è come un grande organizzatore che, in silenzio, fa funzionare tutto questo meccanismo e permette al cervello di espletare la sua azione. È quello che succedeva nella Roma imperiale: in città si svolgeva una vita frenetica, si faceva la politica e si organizzavano banchetti e feste; i gladiatori lottavano nelle arene e il popolo gozzovigliava nelle taverne. Ma tutto ciò era possibile perché Roma aveva un cuore commerciale, il porto di Ostia, che ininterrottamente raccoglieva da tutto il mondo conosciuto merci e viveri, li incanalava nella grande arteria commerciale che era il Tevere, e li distribuiva in tutta Roma.

Per il nostro cervello le necessità di sostentamento iniziano fin dalla vita embrionale, perché fin da allora va incontro a fenomeni di crescita e rimodellamento che gli permetteranno di elaborare la forma definitiva. Poi c'è tutta la fase che va dallo sviluppo infantile fino all'adolescenza e alla completa maturazione. A questo punto, una volta maturo, il cervello

viene utilizzato al massimo, come una macchina che, fatto il rodaggio, si lancia sull'autostrada della vita e la percorre senza soste fino al termine della sua corsa, che può durare molti anni, fino alla senescenza, quando il cervello comincia a rallentare. E in questa corsa non si ferma mai, neanche quando dormiamo, perché, come detto, anche durante il sonno e i sogni l'attività cerebrale continua. E durante tutti questi lunghi anni della nostra vita, il cervello può realizzare tutto questo complesso lavoro grazie alla presenza del cuore che, silenziosamente, con i suoi battiti, sessanta circa al minuto, in continuazione, spinge verso il cervello il sangue, perché così la grande bellezza possa realizzarsi.

Nella dimensione poetica, finalmente, il cuore trova la sua rivalsa e il battito ha il sopravvento sul pensiero. Da sempre il cuore è stato considerato la sede dei sentimenti: se si ragiona con il cervello, ci si emoziona con il cuore; è il battito che ci fa innamorare; l'ispirazione alla creatività artistica, scrivere una poesia o una musica, la si trova nel cuore e non nel cervello; il piacere puramente spirituale dato dal contemplare un'opera d'arte, un bel paesaggio, si dice che venga dal cuore; al cuore si attribuiscono tutti i sentimenti e gli aspetti più umani del cervello. Scriveva Rita Levi Montalcini: «Tutti dicono che il cervello sia l'organo più complesso del corpo umano. Da medico potrei anche acconsentire, ma come donna vi assicuro che non vi è niente di più complesso del cuore; ancora oggi non si conoscono i suoi meccanismi. Nei ragionamenti del cervello c'è logica, nei ragionamenti del cuore ci sono le emozioni».

Seguendo questa visione, che delega al cuore quelle funzioni morali che dovrebbero essere del cervello, papa Francesco scrive: «Un'altra tendenza è privilegiare i valori del cervello a quelli del cuore. Non dimentichiamolo mai: solo il cuore unisce e integra. La comprensione senza il sentire compassionevole tende a dividere. Il cuore coniuga l'idea con la realtà, il tempo con lo spazio, la vita con la morte e con l'eternità». Il cuore, quindi, è visto come sede della comprensione compassionevole, di un sentire che unifica e che allontana da ogni rischio di estrema razionalizzazione.

«Non si vede bene che col cuore: l'essenziale è invisibile agli occhi» scriveva Antoine de Saint-Exupéry ne *Il piccolo principe*.

In realtà, ancora una volta, tutto è ascrivibile al nostro cervello. Al

cuore vengono attribuite quelle che sono le prerogative dell'emisfero cerebrale non dominante, solitamente il destro, quello che sovrintende alla fantasticheria e alla sensibilità, l'emisfero dell'intuizione, dell'immaginazione, della fantasia e del sogno, l'emisfero che ispira gli artisti; mentre si tendono ad attribuire al cervello vero e proprio soprattutto le prerogative dell'emisfero dominante, solitamente il sinistro, la parte analitica che caratterizza gli uomini di scienza, l'emisfero della riflessione, della logica e della razionalità.

Nell'amore il cervello si serve molto del cuore e la relazione di questi due organi diventa quasi di complicità. Il cuore, con il suo «batticuore» e con i suoi palpiti, stimolato dall'amigdala, sembra voler segnalare al cervello quando i centri dell'emotività si attivano in modo straordinario, quando una persona o una cosa lo colpiscono in modo particolare e non lo lasciano indifferente.

La prevalenza delle prerogative del cuore o di quelle del cervello caratterizza e differenzia la personalità di ognuno di noi. Negli eroi omerici una differenza in questo senso è evidente nel diverso modo di agire di Achille e di Ulisse. Achille fa prevalere il cuore, con il suo coraggio, la sua irruenza, la sua istintività; Ulisse fa prevalere il cervello, privilegiando al sentimento il raziocinio, alla forza l'ingegno, all'emotività l'astuzia.

«È molto difficile mettere d'accordo cuore e cervello. Pensa che, nel mio caso, non si rivolgono nemmeno la parola» diceva Woody Allen in un suo celebre film.

Purtroppo, sia il cuore che il cervello invecchiano e si ammalano. Spesso, legati insieme da un destino comune e indissolubile, condividono le stesse malattie e i relativi fattori di rischio. Le malattie vascolari, per esempio, colpiscono sia il cuore che il cervello; nel primo caso determinano l'infarto del miocardio, nel secondo, quelle cerebropatie che possono anticipare l'evoluzione fisiologica verso la senescenza o facilitare il precipitare verso la demenza.

# 15
# Sua maestà la Coscienza

*Noi nasciamo, per così dire, provvisoriamente, da qualche parte; soltanto poco a poco andiamo componendo in noi il luogo della nostra origine, per nascervi dopo, e ogni giorno più definitivamente.*

Reiner Maria Rilke, *Lettere milanesi*

Dio, che bello! Lo sguardo rimane incantato. In cielo strie rosa-arancione sfumano verso il blu sempre più scuro, il tramonto sta lasciando spazio al crepuscolo e questo alla notte. Un ultimo spicchio di chiaro resiste a occidente, dove una falce di luna si fa strada tra la luce che trascolora, mentre sotto di lei il puntino brillante di Venere apre alle stelle le porte del cielo.

In una notte così ci si sente parte dell'immensità dell'universo e la mente si apre alla riflessione su noi stessi, sul senso di grandiosità che ci avvolge e ci meraviglia, sul miracolo della Creazione; vengono alla mente domande che da sempre gli uomini si sono fatte, sul nostro destino, sul senso della nostra vita.

Ci sembra banale dirlo, ma senza la coscienza nessuna di queste esperienze sarebbe possibile!

«La coscienza è la forma della conoscenza, l'unica forma realmente reale, intessuta nell'unico linguaggio che possediamo, quello del cervello e del suo telaio incantato» scrive il neuroscienziato Giulio Tononi.

La coscienza costituisce una delle caratteristiche più peculiari e complesse dell'essere umano. Addentrarsi nei suoi misteri fa un po' paura perché, anche se sulla coscienza sono stati scritti interi libri, poche sono le certezze che abbiamo su cosa sia, perché ci sia, da quale parte del cervello derivi.

Agli albori dell'evoluzione, sulla Terra, non c'era traccia alcuna di coscienza o di libero arbitrio; prevalevano l'istinto e la lotta per la sopravvivenza. Poi, pian piano, l'acquisizione nel nostro cervello di sempre maggiori capacità e funzioni portò l'*Homo sapiens* a poter prevedere le conseguenze future delle proprie azioni, ad avere un primo barlume di coscienza.

La coscienza nasce con il cervello, sboccia quando il cervello sviluppa reti rigogliose e le consolida, e poi invecchia con esso. Quando il cervello muore, anch'essa muore. «E tutti quei momenti andranno perduti nel tempo come lacrime nella pioggia» dice Roy Batty nell'indimenticabile monologo di *Blade Runner*.

Senza la coscienza non esisterebbe nulla. L'unico modo con il quale «sentiamo» il nostro corpo, le nostre emozioni, le persone, gli alberi, le stelle, la musica, è attraverso le nostre esperienze, i nostri pensieri e i nostri ricordi soggettivi. Ogni giorno agiamo, amiamo e odiamo, ricordiamo il passato e immaginiamo il futuro, ma, in buona sostanza, il rapporto con il mondo in tutte le sue manifestazioni lo stabiliamo esclusivamente con la coscienza. E quando questa viene a mancare, scompare pure il mondo.

Ma qui sta il punto. Resta un enigma capire come il cervello converta l'attività bioelettrica negli stati soggettivi, come i fotoni riflessi dall'acqua siano magicamente trasformati dalla nostra mente nel concetto di una scia lunare che avvolge di luce un battello lontano. Insomma, la natura del rapporto tra il sistema nervoso e la coscienza rimane elusiva e, tuttora, al centro di accesi e interminabili dibattiti.

Anche se la coscienza è ben diversa dalla materia, sicuramente della

materia ha bisogno.

Da un lato c'è il cervello, l'oggetto più complesso dell'universo conosciuto, un'entità materiale soggetta alle leggi della Fisica; dall'altro, il mondo della consapevolezza, delle immagini e dei suoni della vita, della paura e della rabbia, del desiderio e dell'amore, della noia. Questi due mondi sono in stretta relazione, come dimostra drammaticamente un'emorragia che, scompaginando la struttura del cervello, all'istante si porta via la nostra mente.

A meno di non essere profondamente addormentati o in coma, siamo sempre coscienti di qualcosa: la coscienza è il fatto centrale della nostra vita. Comincia al mattino quando ci svegliamo e continua per l'intera giornata, fino a quando cadiamo in un sonno senza sogni.

Eppure la coscienza la diamo per scontata, perché ci accompagna da sempre e non richiede sforzi. Allo stesso modo pensiamo, e questo ci permette di fare le cose meravigliose che facciamo, ma non ci siamo mai dovuti interrogare sulla natura del pensiero o sul suo funzionamento.

Quando si parla di coscienza sono più le domande che ci vengono alla mente che non le certezze che abbiamo. Perché, fino a un certo punto dell'evoluzione, le operazioni automatiche e silenti del cervello erano sufficienti per la vita, e solo più tardi è balzata prepotentemente fuori la coscienza e con essa il concetto di libero arbitrio? Cos'è successo perché con l'*Homo sapiens* la mente cominciasse a riflettere su se stessa? Cos'è esattamente la coscienza e cosa significa? Qual è la sua relazione con il mondo circostante? Di cos'è fatta e com'è generata dal cervello? Che relazione c'è tra l'io, la coscienza e gli atomi e le molecole che compongono il cervello, ma che domani se ne saranno andati per essere sostituiti da altri? Perché, alzando gli occhi, ammiriamo un cielo punteggiato di stelle se in nessuna parte del nostro cervello esiste qualcosa che anche lontanamente lo richiami?

Anche se non abbiamo una chiara idea degli eventi biologici che ne hanno reso possibile il manifestarsi, la coscienza è probabilmente la più alta forma di complessità conosciuta nell'universo, e anche la più rara.

È stata definita «il più profondo di tutti i misteri scientifici». In effetti, possiamo considerare la coscienza il vero grande mistero della nostra conoscenza.

Pur così complessa, la coscienza è alquanto fragile e variabile,

perché basta subire un'anestesia per farla scomparire, perché ogni volta che ci addormentiamo, ogni sera, si spegne progressivamente e dentro di noi l'intero universo scompare, vanno via i suoni, i colori, i pensieri ed è come se non esistessimo più neanche noi stessi.

Ma basta svegliarci perché tutto ritorni esattamente come prima, come se nulla fosse successo. Come per miracolo, così, senza sforzo, ogni mattino la coscienza si attiva da sola, milioni di persone si riaffacciano alla vita, ridiventano consapevoli della loro esistenza.

Lo descrive molto bene Marcel Proust in *Dalla parte di Swann*: «Un uomo che dorme tiene in cerchio intorno a sé il filo delle ore, l'ordine degli anni e dei mondi. Svegliandosi, li consulta istintivamente e vi legge in un attimo il punto della terra che occupa, il tempo che è trascorso fino al suo risveglio».

Non vi sono dubbi ormai che la coscienza dipenda dal cervello, una macchina biologica complicata, ma allo stesso tempo fatta di materia che non ha nulla di misterioso. Come il cuore, il cervello è fatto di miliardi di cellule specializzate a condurre impulsi elettrici. Con le tecnologie sempre più sofisticate di cui disponiamo siamo in grado di penetrare dentro i suoi più nascosti anfratti per scoprire com'è organizzato, come funziona. Possiamo scoprire, nel nucleo di ogni più piccola cellula, il segreto della vita, quel DNA che contiene «le istruzioni per l'uso» necessarie per nascere, crescere, sopravvivere e, al momento opportuno, riprodursi.

Eppure, come da quella macchina che ci sembra di conoscere così bene possa sprigionarsi l'esperienza soggettiva, il colore del cielo, la serenità di un tramonto, come dall'attivarsi di un pugno di neuroni nasca la coscienza, sembra davvero un miracolo inspiegabile. C'è chi sostiene che, nonostante gli straordinari progressi compiuti nel campo delle scansioni cerebrali e dell'alta tecnologia, non riusciremo mai a carpirne interamente il segreto, ancora oggi ben oltre le esili possibilità del nostro sapere tecnologico.

Il filosofo David Chalmers lo ha chiamato *«the hard problem»* (il problema difficile), perché sembra impossibile anche solo immaginarne una soluzione.

Certamente l'uomo è solo un piccolo puntino nell'immensità dell'universo, eppure ha in sé la qualità più straordinaria in tutta la storia

della vita: la coscienza, con tutto ciò che ne è seguito, da Madre Teresa di Calcutta a Hitler. Ed è la coscienza che dà senso alla nostra vita.

La coscienza è l'espressione massima dell'attività del nostro cervello e ci appare molto difficile che sia soltanto il risultato di una serie di eventi casuali.

Ma che cos'è esattamente la coscienza? Su questo quesito scienziati e filosofi dibattono da tempo, pur sapendo che essa è la cosa più difficile da definire, la caratteristica più misteriosa dell'uomo.

Su di essa possiamo dire tante cose: è la capacità di ognuno di noi di percepire e di sperimentare il mondo che ci circonda e di sentircene parte, è la soggettività, il libero arbitrio, il centro di comando della mente, è l'esigenza profonda di capire noi stessi, è la maturazione della consapevolezza di sé, con l'insieme di tutto il bagaglio di cose accumulate nel tempo, diversa dal bambino all'adolescente all'uomo adulto. Alla coscienza è legata la visione morale del mondo. La coscienza è un'attività della mente e implica il pensiero; se non pensi, non sei cosciente. Ma ciò non implica che pensiero e coscienza si identifichino, perché non sempre il pensiero è cosciente.

Il termine *mente* è comunemente usato per descrivere l'insieme delle funzioni cognitive del cervello, quali il pensiero, l'intuizione, la ragione, la memoria, la volontà, e tante altre. Anche il termine *psiche* fa riferimento alla mente nel suo complesso.

Il *pensiero* è l'attività della mente, in un certo senso è la mente operativa, un processo che si esplica nella formazione delle idee, dei concetti, della coscienza, dell'immaginazione, dei desideri, della critica, del giudizio e di ogni raffigurazione del mondo. Non sempre il pensiero è cosciente, potendo agire anche in modo inconscio.

Coscienza è lo stato di consapevolezza raggiunto dall'attività della mente, cioè quel momento di presenza alla mente della realtà oggettiva, di percezione di unità di ciò che è nell'intelletto.

La consapevolezza di sé, la capacità di riflettere sui nostri pensieri, sulla nostra vita passata, sul presente, sul mondo in cui siamo, è forse la forma più alta di coscienza e coinvolge la memoria e quella parte del cervello deputata all'elaborazione delle esperienze: il cervello della riflessione. La coscienza è il processo di continua formazione di un modello del mondo e di noi stessi nel mondo, al fine di simulare il futuro

e realizzare un obiettivo, la capacità di immaginare situazioni che non esistono nel mondo reale e di elaborare un progetto per il futuro che vada oltre i bisogni dettati dall'istinto e dalla sopravvivenza. Come ha suggerito un filosofo, il cervello dell'uomo è una macchina anticipatrice e creare il futuro è la sua funzione più importante.

Coscienza è anche consapevolezza di essere coscienti: è il miracolo dell'uomo che indaga se stesso. La coscienza, molto semplicemente, è ciò che c'è quando si prova qualcosa.

Parafrasando il genetista Edoardo Boncinelli, possiamo definire la coscienza «il sostituto secolare dell'anima», la parte più spirituale e metafisica di un essere vivente, un'istanza e un'attività comunque superiori, capaci di dare un senso e un obiettivo alle diverse operazioni portate avanti nel cervello.

La mente, con lo sviluppo della coscienza, costruisce per noi una rappresentazione del mondo che ci circonda, ce lo propone pieno di colori e di suoni, di odori e sapori, disegna per noi i profili dei monti, ci lascia attoniti davanti allo splendore del sole e delle stelle, di una semplice successione di suoni fa musica, ci permette di capire l'armonia di una fuga di Bach e di restare incantati di fronte a uno degli straordinari spettacoli che la natura è in grado di offrirci. Genera tutto ciò che noi percepiamo come reale, all'esterno e all'interno di noi stessi; mentre osserviamo il mondo dall'esterno, siamo in grado di guardare la nostra mente dall'interno.

Grazie alla coscienza riusciamo a sostenere un ragionamento, anche complicato, pronunciamo una frase o leggiamo la pagina di un libro. E possiamo dire parole come: penso, credo, voglio.

Talvolta, osservando una fotografia, un luogo o un oggetto che solo per noi acquistano un particolare significato, la coscienza acquista una speciale coloritura cognitivo-affettiva, che ci fa dire anche: io!

Poiché abbiamo la capacità di parlare, è in particolare attraverso la parola che possiamo affermare di essere coscienti, raccontando tantissime cose di noi e della nostra interiorità.

Nella sua essenza la coscienza è quindi il modo nel quale la percezione del mondo esterno, ma anche delle condizioni momentanee del nostro corpo, diventa una cosa nostra, interiore, fortemente connessa alla linea narrativa della nostra vita.

Essa, inoltre, è il meccanismo di controllo e di verifica della mente,

ciò che fa sì che l'azione della mente avvenga rispettando le finalità della nostra esistenza, in parte scritte nel genoma ma soprattutto fissate dall'ambiente culturale e sociale che l'uomo ha costruito nel corso di millenni.

Per questo, nel linguaggio comune, coscienza indica anche una valutazione morale del proprio agire, spesso intesa come criterio supremo della moralità, e ci eleva alla trascendenza, alle bellezze astratte e morali.

Per san Tommaso, la coscienza è la proprietà che ci pone in grado di conoscere immediatamente il senso morale da seguire, la capacità di parlare di sé a sé, di giudicare e di giudicarsi, esercitando discernimento circa la bontà dei propri atti; da essa emergono scelte, decisioni, condotte e giudizi, anche morali.

Tutto questo è la nostra coscienza. Il vero mistero è capire come possa essere il risultato di un mero gioco meccanico di atomi e molecole. Ma il meccanismo della nostra mente è complesso. Qualcuno ha detto che se la nostra mente fosse così semplice da essere compresa, noi non saremmo abbastanza intelligenti da comprenderla.

Pur essendo la coscienza il pianificatore a lungo termine della nostra vita, in realtà essa controlla solo una piccola parte del lavorio del nostro cervello. Buona parte delle operazioni della mente sono condotte da tanti meccanismi a cui essa non ha accesso, perché molte cose funzionano sotto il suo livello, anche se molte hanno avuto un momento cosciente, hanno necessitato di un apprendimento e hanno un posto nella memoria.

Ma perché, quando dormiamo, la luce della coscienza si spegne e con essa tutto il nostro universo privato, se miliardi di neuroni continuano a inviare impulsi nervosi come quando si è svegli? Ciò vuol dire che dal nostro cervello scaturisce o meno coscienza a seconda della modalità in cui i suoi neuroni si attivano e interagiscono fra di loro? Ma allora è il modo di funzionare dei neuroni, o in alternativa, lo stato di attivazione o meno di specifiche aree cerebrali a determinare se siamo coscienti oppure no? E se è così, che cosa c'è di così speciale in queste aree perché possano generare la coscienza?

Secondo una brillante teoria di Giulio Tononi, la coscienza è il risultato dell'azione integrata di tante aree cerebrali. È la *teoria dell'informazione integrata,* secondo cui le esperienze consce derivano

dall'integrazione di grandi quantità di informazioni da parte di molte aree del cervello. Più una specie vivente è capace di integrare informazioni, più il suo livello di coscienza è elevato. Secondo questa teoria, la coscienza presuppone almeno una quota minima di elaborazioni possibili per affermarsi.

Ma tutte le aree cerebrali sono coinvolte nel meccanismo della coscienza?

Negli ultimi decenni le neuroscienze sono letteralmente esplose, il sapere e le conoscenze sul cervello sono cresciute a dismisura e noi abbiamo capito cose che prima neanche immaginavamo.

Oggi che le tecniche di *imaging cerebrale* ci permettono di visualizzare in modo sistematico e affidabile il cervello in azione, lo studio delle basi biologiche della coscienza è diventata una delle sfide scientifiche più affascinanti. Purtroppo, non riusciamo ancora a riconoscere le aree del cervello che si attivano quando si esprime la coscienza, così come invece riusciamo a fare per individuare le aree motorie o quelle del linguaggio.

Nella mia esperienza di neurochirurgo, ho potuto trarre informazioni interessanti dall'osservazione degli effetti che lesioni, come traumi o emorragie o tumori, producono a seconda delle aree cerebrali che ne sono coinvolte. In questo modo ho capito che alcune parti del cervello più di altre hanno un rapporto stretto con il contenuto della coscienza.

Certamente, per essere coscienti, non abbiamo bisogno del midollo spinale e una lesione in quest'area non modifica minimamente la nostra coscienza.

Un'altra osservazione interessante e per certi versi sorprendente è che una lesione che danneggi il cervelletto, per quanto estesa possa essere e per quanto possa essere causa di menomazioni neurologiche, non compromette la ricchezza e l'intensità delle elaborazioni della coscienza. La cosa che stupisce è che il cervelletto, benché piccolo, contiene più di 60 miliardi di cellule nervose, un numero molto superiore a quello della corteccia cerebrale. Tuttavia, se un tumore o un ictus colpiscono il cervelletto, a venire compromessi sono il nostro equilibrio e la nostra coordinazione: la nostra andatura è maldestra e a gambe divaricate, trasciniamo i piedi, i movimenti oculari sono irregolari e più che parlare farfugliamo. Inoltre, quei movimenti regolari e precisi che solitamente diamo per scontati diventano a scatti e richiedono una

particolare attenzione. Eppure la nostra consapevolezza delle percezioni e dei ricordi cambia di poco; la nostra coscienza rimane quella di prima.

Lesioni della *neocortex*, invece, possono modificare profondamente il nostro livello di coscienza.

Questo ci dice che l'attività di quasi 30 miliardi di cellule nervose della corteccia cerebrale è rilevante per la coscienza, a differenza dei tanti miliardi di cellule nervose del cervelletto che non lo sono, e che, quindi, non è sufficiente avere un altissimo numero di neuroni per produrre coscienza, ma occorre qualcosa d'altro. È molto probabile che sia la scarsa interconnessione che le cellule cerebellari hanno tra di loro e con le altre regioni cerebrali a non coinvolgerle.

Anche una grave lesione del tronco cerebrale è in grado di compromettere la coscienza. I medici sanno che se il tronco encefalico è danneggiato, la coscienza sarà drammaticamente ridotta se non addirittura assente.

Un altro punto chiave nel divenire della coscienza sembra essere il sistema talamo-corticale; una lesione del talamo può determinare disturbi della coscienza. Questo perché il talamo è una struttura fortemente interconnessa con la corteccia alla quale invia segnali sensoriali da tutto il corpo e che interviene nello stato di veglia e di sonno. Quasi ogni regione della corteccia cerebrale riceve segnali dal talamo e gli rimanda informazioni.

Lo sviluppo della corteccia, soprattutto quello della corteccia prefrontale, ha determinato la comparsa di funzioni che sempre più hanno avuto a che fare con la conoscenza, la consapevolezza, la programmazione; ha portato a un utilizzo sempre più complesso del cervello. Si sono moltiplicate le connessioni tra le aree e l'uomo ha cominciato a sviluppare un senso morale, a utilizzare le connessioni per sviluppare idee, creatività, progetti. Sicuramente, nell'emergere della coscienza, la corteccia prefrontale gioca un ruolo essenziale. È lì che hanno sede le funzioni intellettive superiori, come il *problem solving*, il ragionamento e la presa delle decisioni. I pazienti privi di una parte della corteccia prefrontale hanno difficoltà a progettare il futuro, vicino o remoto che sia.

Un'altra area che recenti studi hanno portato all'attenzione degli studiosi della coscienza è il *claustrum*, una lamina cellulare di forma allungata, fine e irregolare, sulla quale gli scienziati si interrogano da

tempo. I claustri si trovano sotto la regione insulare della corteccia e ognuno costituisce una sorta di grande stazione cui inviano fibre nervose quasi tutte le regioni corticali. I suoi lunghi neuroni si prolungherebbero in entrambi gli emisferi del cervello attraversando diverse regioni. Le scansioni del cervello hanno in effetti dimostrato che il claustrum umano è una delle regioni più densamente connesse, correlata con la maggior parte delle regioni cerebrali. Si tratta in ogni caso di un'ipotesi. Vediamo se gli studi che verranno la confermeranno.

Supponiamo, a questo punto, di essere riusciti a individuare con certezza quali sono i centri necessari perché si esprima una coscienza. Il punto vero rimane un altro, e cioè: come può, dall'attività elettrochimica di queste aree, nascere un pensiero cosciente? E se riuscissimo a riprodurre in laboratorio tutti gli schemi delle aree coinvolte nella coscienza, saremmo sicuri di riprodurre un'entità cosciente? O sarebbe come ricostruire una radio collegando fra loro tutti i meccanismi, ma senza sapere come accenderla e senza avere un programma da trasmettere?

La coscienza, insieme al complesso di informazioni che sono necessarie perché si esprima, non può essere ridotta semplicemente ai neuroni o alle molecole o agli atomi apparsi nella notte dei tempi nel nostro immenso universo. Deve avere qualcosa di intrinseco all'essere umano, che necessita per rivelarsi del substrato cerebrale ma non si può identificare solo in questo. Così come un computer, per quanto intelligente e «umano» nelle funzioni, non può avere quella luce interiore necessaria per avere emozioni, per provare gioia o tristezza, per capire il senso delle cose che dice.

Anche quando scoprissimo tutto quello che c'è da sapere sul cervello, i circuiti, le molecole, il sonno o la veglia, il perché esiste un'esperienza soggettiva e il perché il blu appaia blu, e il rosso rosso, doloroso il dolore e buono il gusto dell'uva, o il perché una cosa ci apparirà buona e un'altra cattiva, rimarranno sempre delle domande al di fuori della portata della scienza.

Con la coscienza l'uomo ha avuto il privilegio straordinario di elevare la propria mente. Ed è questo dono a renderci consapevoli dell'immensità e della meraviglia del mondo in cui viviamo e a spingerci a studiarne il

mistero, con il convincimento che la nostra mente sia l'unico strumento, per quanto imperfetto e limitato, che potrà provare a svelarne i misteri.

Da persone con intelletto sappiamo che una spiegazione sul perché le cose stiano così e non altrimenti ci deve pur essere. Uno dei fondamenti della ragione, forse il fondamento stesso, è il cosiddetto principio di ragion sufficiente. In latino suona così: *Nihil est sine ratione cur potius sit quam non sit*, che più o meno vuol dire: «deve esistere una ragione per cui le cose stanno in un modo piuttosto che in un altro».

Ciò vuol dire che era quindi necessario che, nella sua lunga evoluzione, il cervello raggiungesse una capacità di elaborazione di dati tale da cominciare a riflettere su se stesso? Che a un certo punto dell'evoluzione dell'uomo una coscienza era necessaria? E tutto ciò è avvenuto semplicemente perché la complessità dei meccanismi della mente comportava la comparsa di una funzione più alta che esercitasse un controllo sul resto, o non piuttosto perché era previsto da un disegno superiore?

Scriveva Emily Dickinson: «C'è una certa piega della luce, / i pomeriggi d'inverno, che opprime come il peso / delle note d'una cattedrale. // Celeste il dolore che ci dà; / non se ne trova il segno, // se non la differenza interiore / dove nascono i significati».

Forse mai l'uomo arriverà a rispondere a questi quesiti, mai arriverà a trovarne il segno là dove nascono i significati.

Personalmente mi piace pensare che non sia soltanto la complessità anatomica e funzionale cui era arrivato il cervello umano ad aver fatto emergere la coscienza. Preferisco ritenere che la funzione più straordinaria dell'universo non sia nata per caso, come conseguenza passiva di uno sviluppo straordinario delle facoltà mentali, ma che, invertendo i termini del problema, la complessità del nostro cervello si sia realizzata per il fine di sviluppare la coscienza, che la coscienza fosse già nel progetto iniziale e che lo sviluppo delle funzioni del cervello fosse l'elemento evoluzionistico principale perché, a un certo punto, l'uomo delle caverne si trasformasse nell'essere più evoluto dell'universo, perché da un insieme di atomi e molecole si sprigionasse la scintilla dell'anima.

Mi piace pensare che, fin dall'inizio, il progetto fosse «l'uomo cosciente», che la coscienza era l'elemento ultimo perché l'uomo raggiungesse *la conoscenza*.

Quando si parla di coscienza non si può non parlare di *libero arbitrio*. Se la coscienza è capacità di riflettere su noi stessi e sul nostro passato per progettare il futuro, essere coscienti presuppone anche la libertà di scelta in queste azioni, l'esistenza per l'uomo del libero arbitrio, il sentirsi soggetti che agiscono in base a volontà e con una molteplicità di opzioni possibili davanti.

Siamo liberi quando decidiamo internamente di agire, quando abbiamo consapevolezza delle nostre scelte, quando non c'è costrizione; non lo siamo più quando qualcuno sceglie al posto nostro.

Nelle nostre azioni quotidiane abbiamo la sensazione di poter scegliere consciamente tra linee di azione alternative, nella consapevolezza che optare per l'una e per l'altra dipenda da noi. In generale non abbiamo la sensazione che la nostra mente agisca in balia del caso o delle circostanze, anzi la vita di ogni giorno ci appare come una sequenza di libere scelte.

Secondo molti filosofi e scienziati, questa grande libertà in realtà è un'illusione; il libero arbitrio semplicemente non esiste. È stato dimostrato che, nel perseguimento di un compito, certe regioni del cervello si attivano parecchie centinaia di frazioni di secondo prima che quella decisione diventi cosciente. Circa 535 millisecondi prima di muovere un dito, prima ancora che il soggetto abbia consapevolezza di quell'azione, il cervello è già attivo.

Se è così, dicono alcuni, le nostre decisioni non scaturiscono dal ragionamento; ci limiteremmo a rispondere a segnali provenienti dall'ambiente nel fluire continuo della nostra attività cerebrale e lo faremmo in modo automatico. Per molti è la riprova che gli atti volontari e le decisioni cominciano oltre la soglia della coscienza e che per il libero arbitrio non ci sia più spazio. La coscienza sarebbe molto ridimensionata, come se dentro la nostra testa ci fosse qualcuno che ci dice cosa fare prima che ne possiamo essere consapevoli.

Ma, se così fosse, cosa resterebbe della vita morale, del concetto di responsabilità che è alla base di tutti i codici civili e penali del mondo? Se le nostre esistenze si iscrivessero in una trama già imbastita, di che margine di movimento disporremmo? Siamo schiavi di un percorso già stabilito?

Tuttavia, contro queste affermazioni dobbiamo dire che ancora sappiamo veramente poco della mente e dei meccanismi del

ragionamento. Sappiamo, però, che il pensiero non sempre giunge a livello di consapevolezza, ma molto spesso dà risposte immediate basandole sulle tante cose ed esperienze sedimentate nella memoria e ora attive anche senza che ne siamo coscienti. Penso che ogni operazione della coscienza metta in gioco una tale quantità di circuiti cerebrali che questo richieda un certo lavoro prima che la coscienza si manifesti. Come quando avviamo una macchina: prima accendiamo il motore e attiviamo le sue varie componenti, ne sentiamo il rumore anche se non le vediamo; solamente dopo la macchina si avvia.

Il cervello si è evoluto in un certo modo e non in un altro perché questo era il miglior modo per sopravvivere. Per questo ha ritenuto che alcune informazioni non fossero essenziali per la sua sopravvivenza e le ha rese automatiche. Ciò non significa che non siamo liberi solo perché non siamo consapevoli di tutto!

Come dice giustamente Edoardo Boncinelli, siamo abbastanza liberi per la semplice ragione che siamo troppo complicati! Il nostro sistema di miliardi di neuroni tra loro continuamente comunicanti non può essere comandato da un'unica entità. Troppi i fattori in gioco. In tutta franchezza, questo ci rende in buona parte liberi e dunque moralmente responsabili.

Quando traduciamo una frase da una lingua che non è la nostra, c'è un meccanismo interno che trasforma simboli apparentemente senza senso in parole intelligibili. Tutto questo avviene in modo inconscio, ma ciò non toglie che sia sempre il nostro cervello, sotto la spinta della nostra volontà, a farlo.

L'io cosciente rappresenta solo una piccola parte dell'attività del nostro cervello. Le nostre azioni, i nostri convincimenti, i nostri pregiudizi, sono tutti guidati da reti cerebrali alle quali non abbiamo un accesso cosciente ma che fanno parte della nostra mente e attingono ai nostri ricordi, alle nostre esperienze e alle nostre valutazioni passate.

Come Sigmund Freud aveva già capito, buona parte della nostra vita mentale è inaccessibile alla coscienza: è l'inconscio.

Infine, e questo è il quesito che può angosciare o dare un senso alla vita, quando moriamo la nostra coscienza, o la nostra anima, muore con noi o semplicemente si distacca dal corpo? Forse, di tutti i misteri dell'universo, questo è quello che nessuno riuscirà a risolvere con i soli

mezzi che la scienza ci mette a disposizione.

# 16
# Alleniamo il nostro cervello

*Queste foglie che cadono come i nostri anni, questi fiori che appassiscono come le nostre ore, hanno rapporti segreti con i nostri destini.*

Chateaubriand, *Memorie d'oltretomba*

Con lo scorrere degli anni anche il cervello, come ogni altra parte del nostro corpo, invecchia e può non funzionare più alla perfezione. Passate le buone stagioni, avvicinandoci all'inverno della vita, la senilità è l'espressione più evidente della nostra fragilità; tante volte non la si sente venire ma inesorabilmente arriva.

In un mondo che vede prolungarsi sempre più la durata della vita, una delle preoccupazioni più grandi appare quella di invecchiare conservando intatte le funzioni cognitive, di invecchiare con un cervello «giovane».

Purtroppo, a una certa età, per una legge biologica ineludibile, la densità della corteccia si riduce, neuroni e sinapsi lentamente diminuiscono, il cervello produce meno neurotrasmettitori e possiede un

minor numero di recettori per riceverli. Livelli più bassi di dopamina, serotonina e acetilcolina, contribuiscono alla perdita di memoria e talvolta alla depressione.

Col passare del tempo, anche l'ippocampo, crocevia importante per i meccanismi della memoria, perde neuroni, e così anche la corteccia, in particolare le aree frontali che controllano le attività logico-procedurali. È normale, allora, che la memoria possa perdere qualche colpo e tenda ad apparire ogni giorno meno adeguata: veniamo presi da una generale svogliatezza verso cose che prima erano del tutto normali, tendiamo a chiuderci in noi stessi, non troviamo più le chiavi, smarriamo il cellulare, non ricordiamo il nome di un nostro conoscente. Rimangono saldi gli eventi più lontani, quelli che nel corso della vita maggiormente ci hanno emozionato e che abbiamo fissato più saldamente nelle nostre reti neurali.

Solitamente sono i normali processi di invecchiamento a causare tutto ciò, ma talvolta le amnesie sono il segno di gravi malattie tra le quali le più frequenti sono le demenze, come la malattia di Alzheimer. In Italia circa un milione di persone soffre di demenza. È la malattia della quale si ha più paura, che può colpire chiunque mortificandone l'identità e la dignità.

Molte volte, la percezione di non ricordare è conseguenza di una vita sempre più veloce, delle nuove tecnologie che ci portano a dover memorizzare sempre più cose e, avendo noi un budget di attenzione limitato, molte cose possono sfuggirci.

Per fortuna, non sempre il cervello invecchiando ci tradisce. Molte persone (e ricordo con affetto e nostalgia le figure di Giovanni Bollea, Gian Carlo Menotti, Rita Levi Montalcini, Giulio Andreotti e tanti altri) conservano capacità cognitive, memoria compresa, pressoché immodificate, anche in tarda età. Si calcola che siano il 30 per cento degli ultraottantenni. Certamente, alla base di questo privilegio c'è una genetica predisponente, ma invecchiare bene è soprattutto un'arte. Possedere la genetica giusta non garantisce una vita lunga e sana, se lo stile di vita è pessimo. Conta molto anche la cosiddetta *riserva cognitiva*, che in sostanza dipende dal livello di conoscenze che si è raggiunto: più si è fatto lavorare il cervello nel corso della vita, maggiori sono le connessioni tra le cellule cerebrali e minore sarà il rischio di vederlo funzionare male durante la senescenza, perché, in un certo senso, si parte

da un *livello più alto*, insomma, si ha più riserva.

Purtroppo, non tutti utilizzano al massimo le potenzialità del proprio cervello, non tutti lo fanno sviluppare quanto sarebbe possibile.

Anche se un lento decadimento cerebrale fa parte della vita, è possibile pensare a dei metodi, o a dei farmaci, che ci permettano di rallentarlo. Qualcosa si può fare.

Possiamo riassumere il modo di contrastare efficacemente l’invecchiamento cerebrale in un semplice slogan: avere una vita attiva sia intellettualmente che fisicamente, seguire un’alimentazione leggera e sana, e dormire bene.

Alimentarsi con intelligenza e mantenersi attivi, di mente e di corpo, sembrano essere le chiavi di volta per un cervello in forma. E questo fa bene, oltre che al cervello, anche al cuore.

In realtà, le attenzioni verso il nostro cervello sono più complesse e dovrebbero accompagnarci lungo tutto il corso della vita, a cominciare dalla vita fetale in cui i comportamenti della madre sono importanti per lo sviluppo del cervello del bimbo o della bimba che nascerà: una regola fondamentale per le mamme è di evitare fumo, alcol e droghe, perché interferiscono con il normale processo di sviluppo cerebrale. Le statistiche ci dicono che la cannabis è la droga più diffusa tra le donne in gravidanza, e certo non fa bene al cervello del bambino.

Altri momenti importanti per favorire un normale sviluppo cerebrale sono l’allattamento al seno, la tenerezza e l’affetto verso il bimbo che cresce, la scelta delle occupazioni intelligenti, quali la musica o lo studio di una o più lingue straniere. Sono tutte cose che, in una fase di maturazione cerebrale, aiutano a stabilire connessioni più efficaci per elaborare gli stimoli in arrivo dal mondo esterno. Tutto ciò sarà utile anche negli anni che seguiranno.

E poi c’è l’adolescenza, con gli effetti negativi che droghe e alcol possono avere sul cervello ancora immaturo.

Certamente, gli effetti positivi di uno stile di vita sano si manifestano maggiormente se si comincia a pensarci da giovani, ma non è mai troppo tardi per cominciare.

Vi sono molti suggerimenti che, se seguiti, possono farci ottenere di più dal nostro cervello, avere più memoria, riuscire a concentrarci di più,

sfruttarne a fondo la creatività, imparare a usare meglio il ragionamento, rafforzare la logica.

Da qualche anno la ricerca scientifica ha mostrato che certe abitudini alimentari e certi stili di vita possono portare a un aumentato o ridotto rischio di Alzheimer, suggerendo che su questi fattori si può impostare un'importante strategia di prevenzione, per vivere meglio e più a lungo.

L'osservazione delle regole elementari della buona salute diminuirebbe del 35 per cento il rischio della demenza.

*Alimentazione leggera, sana e variata*

La hit parade delle cose utili comincia con l'alimentazione. Il cibo fornisce il carburante necessario per svolgere tutte le nostre funzioni biologiche e la natura ha fatto sì che l'atto del procurarsi il cibo si trasformasse da necessità in piacere; in questo modo il bisogno di mangiare resta sempre prioritario e garantisce la nostra sopravvivenza. Con i nuovi studi sul cervello si è capito che anche l'alimentazione costituisce un valido aiuto per rallentare l'invecchiamento cerebrale.

Le regole sono semplici: mangiar poco e scegliere alimenti sani per il corpo e per la mente.

a) *Restrizione calorica e basso apporto di zuccheri raffinati*. La restrizione calorica sembra avere un effetto anti-invecchiamento e anticancro, e prolunga la vita.

Il cervello, però, ha bisogno di zuccheri, i neuroni viaggiano a glucosio, non possono vivere e funzionare senza zuccheri nel sangue. Il guaio è che nei nostri menù c'è più glucosio di quello che serve al nostro corpo e, in genere, la dolcezza s'identifica con gli zuccheri raffinati. È questo tipo di zucchero a creare i veri guai al nostro organismo, perché ha effetti infiammatori sul sistema nervoso e danneggia i neuroni. Anche l'Organizzazione Mondiale della Sanità ha ridotto la quantità di cucchiaini di zucchero consigliati al giorno.

Meno zucchero vuol dire meno insulina e ridotti livelli di insulina nel sangue sembra abbiano un effetto benefico sul funzionamento e sulla sopravvivenza dei neuroni cerebrali. Per questo negli ultimi tempi è nata la caccia *all'altro zucchero*, più sano, nutriente, ecocompatibile, come

gli zuccheri integrali di canna, il fruttosio, il miele integrale biologico che, se assunti con moderazione, hanno un assorbimento più lento e nutrono in modo più sano.

Una regola di base è preferire carboidrati complessi, quelli che si trovano negli alimenti vegetali, nella frutta, nel pane integrale, perché hanno lunghe catene di zuccheri, che durante la digestione si dividono gradualmente in modo che il glucosio entri in circolo un po' alla volta, come pillole a lento rilascio. Anche gli spaghetti, compattati nel processo di manifattura e digeriti molto gradualmente, hanno un basso indice glicemico e le molecole di glucosio passano lentamente nel sangue.

Altra regola, evitare i carboidrati semplici, che si trovano nei grani raffinati e nei cibi industriali; sono composti da catene più brevi, che si separano rapidamente ed entrano in circolo immediatamente. Anche le patate bianche (non quelle dolci) e il pane di grano bianco inducono rialzi acuti della glicemia.

b) *Attenzione a oli e grassi.* Non tutti gli oli e i grassi sono uguali o hanno lo stesso effetto sulla salute. A grandi linee, possiamo dividerli in buoni e cattivi. Gli oli e i grassi «buoni» sono quelli polinsaturi che hanno effetti benefici sull'organismo. Sono solitamente vegetali e hanno minore rischio di danneggiare il cuore e il cervello. Tra questi ci sono l'olio d'oliva o di semi (meglio scegliere quelli con spremitura a freddo e biologici).

Tra i grassi buoni, quelli che abbassano il colesterolo, una posizione importante l'hanno gli omega-3 (DHA ed EPA), ritenuti, insieme all'olio di oliva, tra i composti più interessanti per il benessere dell'organismo. Molti studi hanno confermato che alti livelli nel sangue di questi oli proteggono il cervello contro il declino cognitivo e l'Alzheimer. Il nostro organismo non è in grado di sintetizzarli in quantità tali da soddisfare il fabbisogno giornaliero, per questo dobbiamo assumerli con la dieta o come integratori. Li troviamo in: salmone, tonno, aringhe, acciughe, sgombri, nei broccoli e in molte verdure, frutta (mele, arance, banane), legumi, cereali, ma anche di più in noci, semi, olio di lino.

La soia riduce il colesterolo, contiene grassi polinsaturi ed è a basso contenuto di grassi saturi, dannosi alla salute; inoltre è tra le migliori fonti di proteine vegetali.

Le persone che privilegiano vegetali e pesci hanno meno rischio di demenza.

Gli oli e i grassi «cattivi» sono quelli saturi e quelli idrogenati o parzialmente idrogenati (trans). A temperatura ambiente sono solidi; lardo e formaggi ne sono pieni. La più grande sorgente di questi grassi è rappresentata dai prodotti caseari (formaggi, mozzarella, gelati, burro, latte intero) e da certi oli (cocco, colza e palma). Subito dopo ci sono le carni, soprattutto rosse, ossia di bovini, equini, ovini e suini. Fanno male anche le margarine, le patate fritte, le brioche, gli snack dolci. Questi grassi innalzano i livelli di colesterolo, che forma le placche nelle arterie del cuore e del cervello. Un alto apporto di grassi cattivi aumenta l'incidenza di declino delle attività cognitive con l'aumentare dell'età e l'incidenza di Alzheimer; aumenta anche il rischio di malattie cardiovascolari e diabete di tipo 2, i quali a loro volta aumentano il rischio di demenza.

c) *Radicali liberi e sostanze antiossidanti*. Quando bruciamo ossigeno per ottenere energia per le cellule, determiniamo un accumulo di sottoprodotti chiamati *radicali liberi*, che minacciano la sopravvivenza dei neuroni e li rendono più suscettibili ai processi neurodegenerativi. Radicali liberi si accumulano anche quando ci esponiamo ai raggi solari, raggi X, microonde, smog, tabacco, fumo, gas di scarico delle macchine, inquinanti ambientali.

Gli antiossidanti endogeni o quelli introdotti dall'esterno, agendo come netturbini del cervello, attaccano e distruggono i radicali liberi e costituiscono uno dei meccanismi più importanti di protezione del cervello.

Tra i principali antiossidanti ci sono le vitamine C ed E, la frutta, in particolare i frutti rossi, la frutta secca, le carote, il pomodoro, la verdura, il tè, il cioccolato fondente, l'olio d'oliva extravergine, il vino rosso, il ginseng, il gingko biloba, la curcuma. Anche gli antociani, pigmenti che colorano diverse tipologie di frutta e verdura, conferendo loro la tipica sfumatura rosso-violacea-blu (mirtilli, lamponi, fragole, ciliegie, arance rosse), hanno spiccate proprietà antiossidanti e sono considerati un vero e proprio antidoto naturale contro l'invecchiamento.

Alti apporti di vitamina E dai cibi sono associati a ridotto rischio di Alzheimer. La contengono broccoli, spinaci, patate dolci, papaia, avocado, pomodori, peperoni rossi, grano integrale e, in alte quantità, le noccioline, i pinoli, i semi di girasole, di sesamo, di lino e gli oli. Arachidi e anacardi hanno meno vitamina E e più grassi saturi.

È importante anche l'introduzione di selenio e di magnesio, che agiscono potenziando l'attività della vitamina E; il selenio in particolare è uno degli antiossidanti più efficaci.

d) *Complesso vitaminico B*. Per favorire il buon funzionamento del cervello sono anche utili le vitamine del complesso B: B6, B9 (acido folico) e B12. La vitamina B12, soprattutto, è essenziale per la salute del sistema nervoso e per la formazione delle cellule del sangue (una sua carenza determina anemia). È stato dimostrato che persone con più alte concentrazioni di B12 hanno migliori funzioni mnemoniche.

La B6 la troviamo nei cereali integrali, nelle verdure, nei legumi, nei peperoni, negli spinaci, nelle patate dolci, nelle banane, nelle noci.

Sono ricchi di B9 i broccoli, gli spinaci, gli asparagi, le verdure a foglia larga, i cereali integrali, i legumi, i piselli, gli agrumi e le carni. Molti cereali sono rinforzati con B9.

La B12 è l'unica vitamina non presente nel mondo vegetale. È presente in carne, pollame, uova, pesce, latticini, soprattutto grana e formaggi stagionati. Viene aggiunta in molti integratori o a cereali o latte di soia.

Il governo degli Stati Uniti raccomanda che la vitamina B12, da integratori o da cibi arricchiti, debba essere assunta da tutti gli individui sopra i 50 anni. Un dosaggio ematico di B12 dovrebbe essere fatto regolarmente da tutte le persone di mezza età o anziane, poiché molti fattori, come l'età, possono modificarne l'assorbimento. Anche un lieve deficit di B12 può associarsi a un deficit cognitivo.

Le vitamine E, B6, B9 (o acido folico) e B12, riducono la produzione e la tossicità di un aminoacido naturale potenzialmente neurotossico chiamato *omocisteina*, considerata, più del colesterolo, un fattore di rischio cardiovascolare, di ictus cerebrale e di decadimento mentale.

e) *Metalli.* Un aspetto importante della dieta è quello relativo ai metalli. Alcuni di essi, quali il rame, il ferro e lo zinco, sono sicuramente necessari per il nostro organismo: il rame serve per costruire enzimi, il ferro per le cellule del sangue (la carenza di ferro è causa di anemie), lo zinco per la trasmissione nervosa e per rafforzare il sistema immunitario. Tuttavia, se sovradosati, possono essere dannosi al cervello e possono indurre la formazione di radicali liberi, accelerando i processi di invecchiamento. Lo zinco favorisce anche la formazione delle placche beta-amiloidi, che a loro volta bloccano il corretto funzionamento

cerebrale.

f) *Idratazione.* L’acqua è una componente essenziale del nostro corpo. Sappiamo che ne costituisce circa il 65 per cento. Se non ci idratiamo, tutto quello che si fa per essere sani e in forma può servire a poco. L’acqua è molto importante anche per mantenere la giusta concentrazione delle sostanze che sono presenti nel nostro sangue, come per esempio gli elettroliti, il glucosio, l’azoto.

Una disidratazione, anche minima, può avere effetti deleteri sulle capacità cognitive, riducendo la capacità di apprendimento e di concentrazione e può essere anche causa di cefalea.

Possiamo assumere acqua, non solo bevendo, ma anche con alimenti idratanti, come la frutta, i semi, assumendo frullati di frutta o verdura.

In pratica, per un’alimentazione «salva cervello», si può ricorrere alla dieta mediterranea ricca di fibre, di grassi polinsaturi e con una quantità non eccessiva di zuccheri, facendo attenzione a non introdurne troppo pochi perché sono la benzina per i neuroni. Quindi pesce azzurro, noci, semi di lino e olio di oliva per i grassi buoni, antiossidanti da frutta e verdura, vitamina B12 da carne, pesce e latticini. È stato osservato un ruolo protettivo della dieta mediterranea nel ridurre il rischio di trasformare in demenza un deterioramento cognitivo lieve.

Vegetali, legumi, frutta o frutti di bosco e grano intero, oltre a essere associati a un ridotto declino cognitivo, forniscono micronutrienti salutari importanti per il cervello e hanno poco o nulla grassi saturi o trans; dovrebbero rimpiazzare carne e latticini, da consumare in quantità molto ridotte, come punti principali della dieta.

La Fondazione Veronesi, riprendendo i dati dell’Institute of Food Technologists di Chicago, propone otto alimenti utili per nutrire il cervello che invecchia:

- Cacao con i suoi flavonoli
- Acidi grassi Omega-3 (salmone, olio di semi di lino)
- Fosfatidilserina e acido fosfatidico (legumi e soia)
- Noci
- Citicolina
- Colina (uova)
- Magnesio (avocado, banane, cioccolato fondente)
- Mirtilli

*Esercizio fisico*

Come regola generale, più ci s'impegna a mantenere una buona forma generale, anche attraverso un'attività fisica quotidiana, più il cervello funziona bene. L'esercizio fisico è un'efficace strategia per migliorare le capacità cognitive e far arrivare al cervello più ossigeno, necessario per ossidare il glucosio nella produzione dell'energia. L'attività fisica, inoltre, stimola la produzione di fattori utili per la salute dei neuroni e delle sinapsi, ed è questa certamente una delle azioni fondamentali per il buon funzionamento della memoria. Anche su persone anziane un modesto esercizio fisico (per esempio una metodica passeggiata, o il ballo) può svolgere un'azione protettiva sulle funzioni cognitive legate all'attenzione e alla memoria procedurale, contrastando efficacemente il declino intellettivo.

Fare esercizio con regolarità comporta vantaggi notevoli: migliora l'efficienza cardiocircolatoria, mobilizza i grassi di riserva, aumenta la secrezione di ormoni utili, aumenta l'efficienza dell'insulina, migliora la qualità del sonno, riduce lo stress, genera euforia e analgesia attraverso la produzione di endorfine cerebrali e di molecole endogene ricche di effetti positivi: stimolanti, oppiacei, cannabinoidi. Nessun farmaco ha contemporaneamente tutti questi effetti positivi.

Secondo una revisione effettuata dalla prestigiosa *Cochrane Library*, l'attività fisica, oltre ad avere un effetto antidepressivo, migliora i tempi di reazione, il livello di attenzione, ma anche la capacità di ricordare informazioni.

Al contrario, l'inattività fisica, al di là degli effetti cerebrali, è stata riconosciuta dalla OMS come il quarto fattore di rischio per mortalità globale.

Come ha scritto Albert Einstein: «Chi non ha tempo per la nutrizione e l'attività fisica, farebbe meglio a riservare il suo tempo per le future malattie».

*Tenere attivo il cervello*

Qualcuno può chiedersi: ma sul cervello si può agire solo indirettamente

oppure è possibile farlo direttamente, con un allenamento mentale? La risposta è: sì, si può fare!

Anche se, a partire da una certa età, e soprattutto con la senescenza, perdiamo neuroni, i nostri collegamenti nervosi sono in costante rinnovamento. A qualunque età nuove fibre e nuove sinapsi possono formarsi e il modo per farlo è molto semplice: in pratica, basta *pensare*. Pensare è un potente stimolante per il cervello. Ogni volta che impariamo qualcosa di nuovo, il nostro cervello, in un certo senso, si ristruttura e costruisce nuove connessioni. La chiave dell'intelligenza sta proprio in questo, nella capacità continua di apprendimento. Bisognerebbe spiegarlo a scuola, ai giovani studenti, che il cervello è come un muscolo da allenare; se lo si usa cresce e si espande, se non lo si usa tende ad atrofizzarsi. In pratica, e questa è l'informazione più importante, purché venga tenuto attivo e stimolato, il nostro cervello si sviluppa lungo tutta la vita.

Anche adesso, leggendo questo libro, le cose che avete appreso hanno cambiato fisicamente il vostro cervello: alcuni dendriti, piccoli rametti dei neuroni, sono cresciuti e si sono sviluppate nuove sinapsi. È il cervello stesso che fa il suo *upgrading*, e questo purtroppo non lo si può comprare come la scheda di un computer, ce lo dobbiamo guadagnare faticando.

Una cosa intrigante è che *il cervello si annoia* e ama essere stimolato di continuo da cose nuove che lo interessino. In risposta alle novità l'attività cerebrale coinvolge un maggior numero di aree, rafforza le sinapsi e collega tra loro gruppi di neuroni secondo nuovi schemi.

Tante sono le occupazioni che possono rivelarsi utili: imparare a suonare uno strumento musicale, fare un nuovo gioco o studiare una lingua straniera. Parlare due o più lingue modifica l'architettura del cervello e aumenta la quantità di sostanza bianca e grigia. Grazie a un maggior numero di neuroni, il cervello dei bilingue va incontro più lentamente all'atrofia legata all'età e riesce a compensare meglio i deficit da invecchiamento.

Anche imparare a usare uno strumento tecnologico nuovo, come un tablet o uno smartphone, è utile; aiuta a ristrutturare gli schemi cognitivi e insegna a pensare in modo diverso, allenando perciò la mente a essere flessibile: più l'intelligenza è fluida, più siamo capaci di trovare soluzioni ai problemi.

Bisogna eliminare tutto ciò che è apprendimento passivo senza una spiccata partecipazione emotiva o intellettuale. Solo così quello che si vuole apprendere è posto al riparo dalla naturale selezione operata dal cervello, che tende ad abbandonare le nozioni catalogate come poco significative o inutili.

È utile leggere molto, con attenzione, prendendo appunti o segnando a margine di libri e giornali i punti chiave, per poter meglio memorizzare il senso di quello che si legge. È anche importante raccontare alle persone che ci sono vicine quello che si è letto e commentarlo.

Leggere buoni romanzi è un gentile ma potente massaggio del cervello. I libri aprono la mente nel vero senso della parola, perché permettono di sperimentare altri mondi e altri stati mentali, quindi di vivere altre vite.

Ed è altrettanto importante trasmettere ai propri figli l'amore per i libri. I bambini apprezzano la lettura, come amano i racconti; quelli di loro che crescono amando i libri hanno un vocabolario più ricco, capiscono meglio quello che leggono, scrivono meglio e commettono meno errori di ortografia.

«Naturalmente i miei figli avranno un computer, un giorno. Ma, prima che arrivi quel giorno, hanno dei libri» diceva Bill Gates.

Altro aspetto da suggerire è avere amici, socializzare. Restare in contatto con altre persone riduce il declino cognitivo e preserva la memoria: l'interazione con gli altri è stimolante e protettiva.

Un atteggiamento positivo, ottimista, è anche una strategia per combattere l'eccessiva tensione e lo stress patologico (altri nemici della salute cerebrale). Ridere fa molto bene al cervello; la risata è il carburante della vita. «La vita è come una fotografia, se sorridi viene meglio» si dice spesso. Se vogliamo essere un po' più colti ripetiamoci un aforisma di Laurence Sterne: «Un sorriso può aggiungere un filo alla trama brevissima della nostra vita». E anche Lord Byron diceva: «Ridete sempre, quando potete. È una medicina che non costa nulla».

Al contrario, lo stress può essere deleterio per la nostra mente. Se di breve durata, quale quello causato da un esame imminente o da un pericolo improvviso, può avere effetti benefici sul funzionamento cerebrale; ma lo stress prolungato, con una protratta liberazione di ormoni come il cortisolo, causa danni al cervello e ha un effetto nefasto sull'ippocampo, impedendo la sedimentazione della memoria e

compromettendo l’apprendimento. Inoltre, interrompe gli schemi del sonno e ciò influisce negativamente sulla capacità di concentrazione.

Lo stress, l’ansia, la depressione e la stanchezza sono «saponette» dei ricordi, li spazzano via e vanno perciò combattute.

La meditazione, riducendo lo stress e aiutando la mente a vagare, ha profondi effetti sul pensiero e sulle emozioni. Chi medita a lungo riduce le dimensioni dell’amigdala, regione legata all’ansia e alla paura, e sviluppa quelle della corteccia prefrontale, legata alle forme superiori di elaborazione cognitiva e all’intelligenza. Chi pratica la meditazione per molti anni è meno soggetto a demenza e migliora anche l’attenzione, la memoria operativa e l’elaborazione spaziale.

Ricordiamoci che il cervello è un organo lento, i nostri processi cognitivi hanno bisogno di tempo. Guai a intasarlo con troppe informazioni: per trattenere ciò che arriva dall’esterno le cellule devono creare collegamenti e per farlo serve tempo; se gli mandiamo troppe notizie finiamo per creare solo confusione.

Cerchiamo di scrivere a mano e non sulla tastiera di un computer; in tal modo coinvolgiamo più aree cerebrali.

Fare musica (ascoltarla, studiarla in spartiti, eseguirla, cantarla) attiva una vasta rappresentazione di aree nella corteccia cerebrale; è forse l’attivazione cerebrale più estesa. Ha il suo centro, oltre che nelle aree cerebrali acustiche, negli organi delle emozioni, cioè nel sistema limbico di entrambi gli emisferi e nelle molte aree a esso collegate. La musica barocca, quella di Bach, Händel, Pachelbel, Vivaldi, sembra essere la più adatta a indurre una condizione di rilassamento che lasci la mente vigile e in grado di concentrarsi, entrando in sintonia con la musica nascosta del nostro cervello. Ascoltare musica attiva 6-7 miliardi di neuroni cerebrali; suonarla coinvolge anche il cervelletto, per il controllo dei movimenti, e il corpo calloso, per coordinare al massimo l’attività dei due emisferi. Suonare uno strumento è un ottimo modo per far passare il cervello dalla modalità attiva al *default mode network*, il circuito cerebrale di mantenimento in cui la mente divaga e ha intuizioni brillanti.

Parole crociate e sudoku, reclamizzati come una difesa contro l’invecchiamento cerebrale, sono un buon test per la memoria, ma non aumentano l’intelligenza. È sicuramente utile farli, ma imparare nuove cose è sicuramente più efficace.

Come regola generale, un ambiente intellettualmente coinvolgente e relazioni sociali varie e interessanti consentono di mantenere capacità mentali migliori ben oltre l'età della pensione.

*Dormire a sufficienza*

Tutto quanto detto finora stimola il cervello, ma comporta un impegno, un lavoro. C'è invece un'attività molto importante per la salute cerebrale che non costa fatica, anzi è di tutto riposo: chiudere gli occhi e dormire. Eppure, spesso, il sonno è visto come qualcosa che può essere rimandato, dosato mediante l'uso di caffeina o ignorato del tutto, anche se mantenere un ritmo di sonno salutare è oggi considerato come una delle migliori forme di medicina preventiva.

Dormire bene è indispensabile per il cervello. Durante il giorno le cellule cerebrali, elaborando gli stimoli, aggiungono innumerevoli rametti ai prolungamenti neuronali; il sonno è un ottimo giardiniere che ne sfoltisce la crescita, dando forma ai ricordi che servono ed eliminando ciò che non è utile, per lasciare spazio alle successive esperienze. Basta una notte di sonno irregolare per avere difficoltà di concentrazione il giorno successivo.

Anche il breve riposo pomeridiano migliora la coordinazione motoria e l'apprendimento del 20 per cento.

Si narra che Leonardo da Vinci, Isaac Newton, Nikola Tesla usassero il pisolino come risorsa per alimentare la propria creatività. Prima di un esame non c'è nulla di meglio di una notte di sonno e nulla di peggio di una notte in bianco a studiare.

Ma quanto bisogna dormire? Mai dormire meno di 5 ore, mai più di 9. Al di là di quelle che potrebbero essere abitudini oramai consolidate, la durata ideale è di 7 ore per notte. Dormire troppo (più di 9) o troppo poco (meno di 5) aumenta il rischio di malattie cardiovascolari e cerebrali.

*Prevenire le cerebropatie vascolari*

Il controllo della pressione arteriosa, del colesterolo e della funzionalità cardiaca ha un effetto protettivo nei confronti della memoria, preservando il cervello da microinfarti che, se all'inizio possono passare inosservati, a lungo termine fanno sentire il loro effetto danneggiando aree cerebrali.

Tra le indicazioni per stare in salute dopo i 50 anni e per evitare di danneggiare il cervello, dobbiamo mettere anche quelle di non fumare, non bere alcolici o solo con moderazione, e sottoporsi agli screening medici prescritti in funzione dell'età, del sesso e dei fattori di rischio.

Cosa ci riserva il futuro? La speranza di tutti è che la scienza possa permetterci di migliorare la memoria e le altre funzioni cognitive. Molti scienziati pensano che sarà possibile.

Oggi l'interesse scientifico è rivolto ai *savant,* cioè a quelle persone dotate di capacità cognitive fenomenali che travalicano l'odierna conoscenza scientifica. Queste capacità sono soprattutto evidenti in persone affette da autismo; si calcola che il 10 per cento di loro mostri una qualche capacità savant. Il caso più noto è quello di Kim Pek, a cui si ispirarono i creatori del film *Rain Man*. Sebbene affetto da un grave ritardo mentale (era appena capace di allacciarsi i lacci delle scarpe o i bottoni della camicia), aveva imparato a memoria circa 12mila libri ed era in grado di citarne interi passaggi, parola per parola. Impiegava 8 secondi per leggere una pagina e riusciva a memorizzare un libro intero in circa mezz'ora. Leggeva entrambe le pagine nello stesso momento, utilizzando contemporaneamente un occhio per ognuna.

Anche una piccola parte delle persone affette da una forma più lieve di autismo, la sindrome di Asperger, possiede le stesse, incredibili capacità. Si pensa che molti grandi geni del passato potessero essere affetti da una sindrome di Asperger: ciò potrebbe spiegare la strana e solitaria natura di alcuni grandi fisici come Isaac Newton o Paul Dirac.

Anche in alcuni soggetti affetti da dislessia, legata a un imperfetto funzionamento dell'emisfero sinistro, aumenta la creatività nelle arti visive, che hanno meccanismi cerebrali con sede prevalente a destra.

Il dato sorprendente è che capacità analoghe possono talvolta essere acquisite da persone normali a seguito di una lesione a carico di specifiche parti del cervello. Esiste, infatti, la cosiddetta *sindrome di savant acquisita* che emerge nel momento in cui un adulto, in apparenza

normale, subisce un grave trauma, quasi sempre all'emisfero sinistro, come battere la testa o venire colpiti da una palla da baseball o da un proiettile. È come se l'emisfero dominante, in situazione di normalità, avesse il potere di inibire le straordinarie capacità cognitive dell'emisfero destro. Particolari condizioni, come le modificazioni funzionali legate all'autismo o una lesione all'emisfero sinistro, sembrerebbero in grado di rimuovere l'effetto inibitorio, liberando la creatività dell'emisfero controlaterale.

Se il nostro cervello, sia pure in specifiche situazioni, è in grado di esprimere le caratteristiche dei savant, ciò potrebbe voler dire che tutti noi, in forma latente, possediamo simili capacità. E forse in un futuro potremmo essere in grado di attivare, a nostro piacimento, questi miracolosi poteri. Sono già stati fatti numerosi tentativi, alcuni con successo, di far emergere capacità straordinarie inibendo aree cerebrali grazie a campi magnetici generati da uno scanner elettromagnetico.

Grazie ai progressi della scienza, alle conoscenze sulle cellule staminali e all'ingegneria genetica, nei prossimi decenni il potere delle neuroscienze potrebbe diventare esplosivo. Oggi la ricerca è sulla soglia di nuove scoperte che, con ogni probabilità, ci lasceranno senza fiato.

Certamente, il mondo del futuro sarà il mondo della mente.

# 17
# Intelligenza Artificiale: fantascienza o realtà?

*Il mio obiettivo è quello di creare macchine che possano pensare cercando di capire come la gente pensa.*

Marvin Lee Minsky

Intelligenza artificiale, intelligenza limitata, intelligenza generale, computer superintelligente, superintelligenza, singolarità tecnologica, cyborg…

Oramai non vi è giornale o rete televisiva che non dedichi ampi spazi a questi temi. Il numero di libri scientifici o di fantascienza dedicati al futuro dell'intelligenza è in continua crescita. L'intelligenza artificiale sembra essere tra i primi argomenti nell'interesse della gente. Ma veramente la fantascienza sta diventando realtà?

Nel corso di questo libro abbiamo potuto apprezzare le straordinarie qualità del nostro cervello e abbiamo cercato di capire come alcune funzioni, che consideriamo uniche e caratteristiche del solo cervello

umano, possano scaturire dall'azione integrata di milioni di miliardi di piccoli elementi che abbiamo imparato a conoscere, i neuroni. Abbiamo considerato, soprattutto, come il funzionamento del cervello ci porti, in un modo per tanti versi ancora incomprensibile, dal materiale all'immateriale, dagli atomi all'intelligenza. E siamo rimasti colpiti dalla grandiosità di tutto ciò. Appare dunque straordinario che alcuni scienziati abbastanza visionari abbiano immaginato che potesse essere possibile creare macchine capaci di realizzare cose ancora oggi ritenute prerogativa della sola mente umana, come produrre idee, comunicare, risolvere problemi, apprendere, o capaci addirittura di superare quest'ultima, di diventare *superintelligenti.*

Nel formulare queste ipotesi essi si sono innanzitutto basati sugli straordinari progressi preconizzati nell'ambito delle conoscenze scientifiche e delle tecnologie. Secondo la legge di Moore, la potenza di calcolo dei computer raddoppia grosso modo ogni 18 mesi, e secondo questo calcolo nell'anno 2025 un computer come quelli che tutti abbiamo in casa disporrà della stessa capacità di calcolo di un cervello umano, e nel 2045, se si confermerà lo stesso ritmo di crescita, avrà la stessa capacità di calcolo di tutta l'umanità messa insieme. E ci saranno milioni di computer come questi in tutto il mondo.

Oramai qualcuno sostiene che sia solo una questione di tempo prima che le macchine acquisiscano una consapevolezza di sé in grado di rivaleggiare con l'intelligenza umana.

Tutto sommato, il motivo principale della posizione dominante dell'umanità sulla Terra è dovuta al fatto che il nostro cervello ha un insieme leggermente più ampio di facoltà in confronto agli altri animali, cosa che ci ha consentito di trasmettere la cultura in modo più efficiente. La crescita continua delle conoscenze, di generazione in generazione, ci ha permesso di conseguenza di consolidare il nostro vantaggio. Ma se arrivassero entità capaci di accumulare conoscenze molto più velocemente di noi e di inventare nuove tecnologie in tempi molto più brevi, potrebbero anch'esse usare l'intelligenza per elaborare strategie ancora più efficienti, assumendo un controllo diretto sulle tecnologie, e poi sui processi politici, sui mercati finanziari e sui flussi d'informazioni.

Ma la legge di Moore può avere validità eterna? Stiamo già assistendo a un suo rallentamento e il ritmo potrebbe interrompersi del tutto alla fine di questo o del prossimo decennio. Il motivo è semplice:

oggi è possibile inserire centinaia di milioni di transistor in silicio su un microscopico chip, ma c'è un limite a quanto vi si può stipare. Tuttavia, mentre l'era del silicio volge al termine, i fisici già sperimentano una grande varietà di alternative, forse ancora più efficienti. Probabilmente fra poco avremo computer quantistici, computer molecolari, nanocomputer, computer a DNA, ottici eccetera.

L'idea che sta dietro la prospettiva di un'intelligenza artificiale scaturisce dal modo in cui abbiamo visto evolvere e funzionare il nostro cervello. La configurazione cerebrale è frutto di un'evoluzione lunga milioni di anni. Alla nascita la sua struttura è già decisa dai geni, dal DNA che abbiamo ricevuto in eredità. Lo sviluppo di gran parte dell'intelligenza e l'accumulo della maggior parte delle nostre conoscenze avviene però successivamente grazie alla capacità di elaborare tutte le informazioni che provengono dai nostri sensi. Se vogliamo descrivere tutto questo in un linguaggio da computer, seguendo Max Tegmark, professore di Fisica al MIT e autore del libro *Vita 3.0: essere umani nell'era dell'intelligenza artificiale*, possiamo dire che il nostro hardware (l'insieme delle informazioni del nostro DNA che costituiscono la struttura base del cervello e ci forniscono le modalità d'uso) è frutto dell'evoluzione, lo troviamo già quasi pronto alla nascita, fisso e soggetto a piccole modificazioni iniziali legate alla sua crescita fino al volume definitivo, con un DNA praticamente stabile negli ultimi 50mila anni, e con una scarsa capacità di immagazzinamento delle informazioni. Per questo noi umani, alla nascita, non sappiamo granché.

Al contrario, il nostro software (l'insieme delle reti neurali che si svilupperanno nel corso della vita e che ci permetteranno di acquisire le informazioni che provengono dal mondo che ci circonda e di costituire quello che sarà l'insieme delle nostre conoscenze, del nostro modo di ragionare e di emozionarci e prendere decisioni, ciò che ci farà essere quello che ci caratterizzerà per la vita) viene in gran parte continuamente programmato in un secondo momento, attraverso il processo di apprendimento che continuamente trasforma il nostro cervello lungo tutta l'esistenza. È questo che ci fa avere un'intelligenza molto superiore a quella che può venirci trasmessa attraverso il DNA all'atto del concepimento. Ed è a questo che dobbiamo una caratteristica straordinaria del nostro cervello, cioè la sua flessibilità, la sua capacità di

modificarsi continuamente, di imparare sempre, di avere quello che finora abbiamo chiamato «la sua plasticità».

Per chi usa termini tecnologici, possiamo dire che il nostro DNA contiene soltanto circa un gigabyte di informazioni, sì e no sufficiente a scaricare e memorizzare un singolo film, mentre l'insieme finale delle nostre sinapsi immagazzina tutto quello che conosciamo e tutte le abilità apprese sotto forma di circa 100 terabyte di informazioni.

Nella nostra biologia possiamo agire poco sul nostro hardware, impiantando per esempio qualcosa di artificiale, ma nulla che ci permetta di acquisire un cervello più grande.

Ma, e questa è la sfida che si pongono gli scienziati, se riuscissimo a costruire un cervello che oltre ad avere un software duttile avesse anche un hardware implementabile a piacere, avremmo una macchina immensamente più potente e capace in pochi decenni di un'evoluzione che per la biologia richiederebbe migliaia di anni. Ha impiegato circa 13,8 miliardi di anni, dal momento del Big Bang, una materia inerte e incosciente a diventare intelligente. Uno sviluppo ulteriore certamente richiederà un enorme numero di anni. Secondo chi si occupa di IA, perché ci possa essere il grande salto è necessario che la vita si liberi dei vincoli della propria evoluzione e riesca a progettare e modificare il proprio hardware. Sarebbe un modo estremamente più rapido di costruire macchine intelligenti rispetto alla soluzione escogitata dall'evoluzione. Probabilmente la macchina che si otterrà consumerà molto più dei 15 watt di energia che usa il nostro cervello, ma ben presto si progetteranno altre macchine intelligenti capaci di usare energia in modo anche più efficiente.

Gli scienziati, in altri termini, immaginarono di poter creare ciò che oggi chiamiamo un*'Intelligenza Artificiale* (IA), con l'obiettivo ultimo di simulare, e possibilmente superare, il funzionamento del cervello umano.

Molti sono pieni di entusiasmo per questo salto nel futuro e lo considerano una delle più grandi sfide dell'umanità, probabilmente il più grande evento della storia dell'uomo. Del resto, dicono, se un processo cieco e lento come l'evoluzione è stato capace di produrre l'IU, l'*Intelligenza Umana*, un processo adeguatamente ottimizzato grazie alla scienza, non dovrebbe farlo in modo più rapido e, forse, più efficace?

Spinti dal mito dell'IA, dopo decenni passati a puntare tutto

sull'esplorazione dello spazio e sui misteri della Fisica, da qualche decennio gli scienziati, non solo biologi, ma anche matematici, fisici, astrofisici eccetera si occupano di capire come opera il nostro organo più complesso e oggi istituzioni e governi di tutto il mondo lanciano grandi progetti per andare alla conquista della mente.

Nel 2008, con il sostegno di Google e della NASA, è stata fondata in California la Singularity University per lo sviluppo di biotecnologie finalizzate all'evoluzione di un'IA.

La via verso l'IA sta seguendo sostanzialmente due concezioni scientifiche del tutto differenti.

Secondo alcuni, la mente è simile a una macchina, il cui comportamento può essere studiato e replicato in un computer. Per altri, l'intelligenza è una proprietà funzionale del cervello biologico e per simularla dobbiamo cercare di riprodurre la struttura di quest'ultimo, ispirandoci al funzionamento del sistema nervoso e sviluppando concetti come quelli delle reti neurali.

Nel 2013 l'Unione Europea ha lanciato lo *Human Brain Project*, che mira, mediante un supercomputer, a realizzare la simulazione informatica completa del funzionamento del cervello umano.

Con le tecnologie attuali, per realizzare questo progetto ci vorranno macchine imponenti; il consumo di energia di un simile mostro di silicio sarà così elevato da richiedere, per la sua alimentazione, una centrale nucleare da 1000 megawatt e saranno necessarie misure di raffreddamento eccezionali per evitare che i suoi circuiti fondano. E pensare che tutto ciò servirà soltanto a cercare di simulare una piccola parte del corpo umano che pesa meno di un chilo e mezzo e sta tutta dentro la nostra testa, che al massimo del suo lavoro fa salire la temperatura corporea solo di pochi gradi, usa meno di 20 watt/ora di potenza e ha bisogno solo di un gradevole pasto per tirare avanti. Senza considerare che per realizzarla è sufficiente far congiungere due cellule con un atto naturale e anche piacevole, e restare in attesa per nove mesi.

Sempre nel 2013, Barack Obama ha lanciato il progetto BRAIN per mappare l'intera attività cerebrale, per decifrare in che modo le reti neurali operano per produrre il pensiero e prendere decisioni. Tracciare una mappa completa dei percorsi neurali del cervello umano potrebbe permettere anche di capire meglio come funziona la nostra mente e cosa si inceppa quando si sviluppa una malattia mentale, come la

schizofrenia, l’Alzheimer, l’epilessia, l’autismo, la depressione eccetera. Ma il funzionamento del nostro cervello è ancora, in buona parte, misterioso e la nostra scarsa conoscenza sulla struttura neurale di quest’organo può essere un grosso ostacolo alla ricerca sull’IA.

Gli studi sull’IA sono ritenuti così importanti per il futuro del genere umano e per la rilevanza strategica che potranno avere sull’equilibrio tra le nazioni, che la corsa per diventarne leader è già cominciata. Oltre all’agenzia del dipartimento della Difesa di Washington che sviluppa tecnologie militari (DARPA), anche la Cina sta investendo cifre ancora più ingenti. Sempre negli USA e in Cina operano due grandi gruppi multinazionali (GAFAM: Google, Apple, Facebook, Amazon, Microsoft, e BATX: Baidu, Alibaba, Tencent, Xiaomi), che hanno destinato decine di miliardi di dollari allo sviluppo di questo settore.

Nello sviluppo del futuro avranno un ruolo importante anche le interfacce neurali, sistemi che permettono lo scambio di informazioni tra una macchina (un computer o una protesi robotica) e il sistema nervoso, per potenziare l’intelligenza e altre funzioni in individui sani. In alcuni laboratori si lavora per sviluppare piccoli chip da impiantare nel cervello, disegnati per acquisire, interpretare e modificare i segnali elettrici generati durante l’attività cerebrale e consentire quindi una comunicazione diretta con un computer (interfaccia neurale). È l’obiettivo che vogliono raggiungere i ricercatori della Silicon Valley, l’idea degli uomini *cyborg*, superintelligenti, ricettivi.

Nel futuro potremmo anche avere un robot controllato a distanza dal cervello umano con cui si interfaccia attraverso un computer, oppure un androide con cervello artificiale nel quale viene trasferita la personalità di un essere umano, un ologramma in grado di esprimersi in tutto e per tutto come una persona.

La fantascienza ha già previsto tutto questo e ha immaginato un futuro in cui la mente potrà essere trasferita in un computer. Ma non si tratta solo di un film, il concetto di *mind uploading*, di trasferimento della mente, non è pura utopia. C’è chi è convinto che nelle prossime decadi i robot diventeranno il guscio dentro il quale sarà racchiusa la mente degli uomini; corpi meccanici con un cervello umano.

A questo punto, penso che fornire alcune definizioni riguardanti il mondo dell’IA possa aiutarci a capire meglio.

Cominciamo con la definizione di *intelligenza*.

Tradizionalmente si definiva intelligente una persona con una buona formazione e con un buon livello culturale. In realtà l'intelligenza ha molte più sfumature e possiamo darne varie definizioni quali «la capacità di risolvere problemi nuovi e adattarsi all'ambiente», oppure «la capacità di progettare e realizzare fini complessi».

Il termine IA indica invece la capacità di una macchina (un computer o un robot o un androide) di avere comportamenti simili a quelli umani.

Nell'ambito dell'intelligenza possiamo poi distinguere fra *intelligenza ristretta* e *intelligenza generale*; la prima è la capacità di raggiungere un insieme limitato di fini. Oggi l'IA è in genere ristretta; ogni sistema, per quanto complesso, è in grado di realizzare fini molto specifici. Un formidabile computer, come *Deep Blue*, in grado di battere un campione mondiale di scacchi, è capace di svolgere soltanto l'attività molto ristretta di giocare a scacchi. La maggior parte delle IA specializzate è capace di assolvere alla perfezione compiti precisi, mostrando invece una stupidità assoluta non appena si sconfina in qualche campo a loro sconosciuto.

L'intelligenza umana (IU) è invece di un'ampiezza unica, in grado di padroneggiare una gamma straordinaria di abilità; è, cioè, un'intelligenza generale, capace di raggiungere praticamente qualsiasi fine, compreso l'apprendimento. Qualunque bambino, con un tempo di addestramento sufficiente, può diventare bravo non solo in qualsiasi gioco ma anche in qualsiasi lingua, attività sportiva o lavoro. Ciò vuol dire che, se le macchine ci battono in un numero sempre crescente di campi ristretti, noi umani vinciamo facilmente per generalità.

Il sogno della ricerca sull'IA è la costruzione di una macchina con un'intelligenza della massima ampiezza, in grado di realizzare praticamente qualunque fine altrettanto bene di un essere umano; possiamo definirla un'*Intelligenza Artificiale Generale* (IAG). In fin dei conti, chi si occupa di ciò pensa che la materia inerte possa essere configurata in modo che, obbedendo alle leggi della Fisica, ricordi, computi e apprenda, anche se non è materia biologica.

Una tale intelligenza, se realizzata, potrebbe innescare un cambiamento radicale per l'umanità, un punto di svolta conosciuto come *singolarità tecnologica,* un futuro dominato da macchine intelligenti nel quale il nostro futuro diventerebbe imprevedibile. Il termine *singolarità*

viene usato dagli scienziati per definire questa esplosione di intelligenza artificiale.

Si ritiene che nel momento in cui un'IAG supererà la soglia dell'IU, potrà subire un'accelerazione che la porterebbe in poco tempo alla *superintelligenza*, cioè a un'intelligenza che supera di molto le prestazioni cognitive degli esseri umani in quasi tutti i domini di interesse, compreso quello dell'apprendimento.

È assai probabile che a quel punto questi computer intelligenti creeranno macchine più intelligenti degli esseri umani. E queste macchine, a loro volta, saranno in grado di progettare altre macchine ancora più intelligenti, lasciando l'intelligenza dell'uomo molto indietro. C'è la paura che la prima macchina ultraintelligente possa essere anche l'ultima invenzione che sarà permesso all'uomo di realizzare.

L'impiego di IA specializzate già oggi è molto diffuso e molte macchine, in un sempre maggior numero di compiti specifici, superano di gran lunga le capacità del cervello umano. Gli algoritmi che le guidano, cioè quegli strumenti informatici che ci permettono di programmare una macchina, stanno migliorando esponenzialmente allo scopo di fare ancora meglio molto di ciò che l'IU è in grado di fare.

Anche se il mondo dell'IA è in continua evoluzione, ciò che oggi conosciamo ci consente di fare un confronto, anche se non definitivo, tra le due intelligenze.

La prima differenza è relativa alla velocità dei cambiamenti di ognuna: l'evoluzione biologica umana è troppo lenta rispetto alla progressione dell'IA.

L'IA, inoltre, supera nettamente l'IU in tutto ciò che comporta velocità di operazione.

Se consideriamo la velocità degli elementi computazionali, ci accorgiamo che i neuroni biologici funzionano a una velocità molto inferiore a quella di un microprocessore moderno.

Per quel che riguarda la comunicazione interna, gli assoni trasmettono potenziali d'azione a velocità di 120 m/s, mentre i processori elettronici possono comunicare per via ottica alla velocità della luce (circa 300 milioni m/s).

Nel numero degli elementi computazionali siamo indietro: il cervello biologico possiede all'incirca 86mila miliardi di neuroni e questo

numero è condizionato dalle sue dimensioni non modificabili; i supercomputer possono essere grandi come un hangar, con la possibilità di aggiungere tutti i cavi ad alta velocità che si vuole.

Nella velocità di diffusione delle conoscenze il cervello appare molto lento, anche se il lavoro svolto dalla nostra mente non è disprezzabile. Se il nostro DNA non si è evoluto sensibilmente negli ultimi 50mila anni, le informazioni conservate collettivamente nei nostri cervelli, nelle biblioteche e, adesso, nei computer hanno conosciuto negli ultimi anni una straordinaria esplosione culturale (usando un termine da IA potremmo definirla una *singolarità biologica)*. Nel corso del tempo (circa 45mila anni fa) l'uomo ha sviluppato meccanismi che gli hanno permesso di comunicare per mezzo di un linguaggio parlato raffinato e in questo modo trasmettere le informazioni più utili da un cervello a un altro. Lo sviluppo della capacità di leggere e scrivere (intorno al 4000 a.C. in Mesopotamia), e, successivamente (quasi 5500 anni dopo, a Magonza), l'invenzione della stampa, hanno permesso di immagazzinare e condividere quantità di informazioni molto maggiori di quelle che una singola persona avrebbe potuto custodire, realizzando biblioteche di cultura. Utilizzando la nostra intelligenza e il nostro ingegno, abbiamo prodotto tecnologie informatiche che hanno reso possibile a tutti gli esseri umani l'accesso a buona parte delle informazioni del mondo. Con i computer abbiamo potuto costruire strumenti straordinari, dagli smartphone a Internet a computer ancora più capaci. In questo modo, l'insieme delle conoscenze dell'umanità ha continuato a crescere a un ritmo sempre più accelerato, permettendo lo straordinario progresso che è sotto gli occhi di tutti e raggiungendo velocità non confrontabili con la lentezza della nostra storia biologica. Ma per quanto questo risultato possa sembrarci eccezionale, i meccanismi di condivisione nell'ambito dell'IA sono infinitamente più veloci. Miliardi di macchine possono sincronizzare ogni ora i loro database e così tutti gli esemplari possono conoscere in pochi attimi tutto ciò che ognuno di loro ha imparato nell'ora antecedente, con una straordinaria diffusione delle conoscenze.

In quanto ad affidabilità nel tempo, noi umani lo siamo relativamente poco; gran parte della struttura del nostro cervello è determinata alla nascita e va incontro a un deterioramento fisiologico, mentre un computer può essere implementato e potenziato continuamente. Di una macchina, o di un programma algoritmico, si possono creare numeri

arbitrari di copie, mentre i cervelli biologici possono essere riprodotti soltanto molto lentamente. Ogni nuovo esemplare, inoltre, all'inizio è in uno stato di impotenza funzionale, non ricordando nulla di ciò che i genitori hanno imparato nel corso della vita.

Un computer come Watson è in grado di analizzare l'insieme completo di conoscenze che compongono *Wikipedia*, ma se si rimuove un singolo transistor da un processore, il computer si blocca immediatamente, mentre il cervello umano può funzionare abbastanza bene anche privato di una sua buona metà.

Un computer ha un'architettura rigida, un cervello umano è costituito da una sofisticatissima rete neurale che si riconnette di continuo e si rafforza dopo aver appreso una nuova attività; le sue reti lavorano massicciamente in parallelo, con un centinaio di miliardi di neuroni che si attivano in contemporanea al fine di raggiungere l'obiettivo di imparare.

Il confronto tra il consumo energetico del campione di scacchi Garri Kasparov (circa 20 watt/ora) e quello di *Deep Blue* mostrò che quest'ultimo di watt ne consumò migliaia. Durante tutta la partita Kasparov ebbe sempre una temperatura corporea normale, mentre *Deep Blue* era così incandescente che si dovettero impiegare diversi ventilatori per dissiparne il calore. Ma probabilmente già oggi sono stati progettati nuovi computer con una maggiore efficienza energetica; e se non oggi, forse succederà in futuro.

Dietro ogni ricerca di Google si nasconde un'IA, che in un istante pesca il risultato ritenuto migliore da uno sterminato oceano di dati. Ci sono IA che analizzano dati finanziari o forniscono diagnosi mediche con una probabilità di errore di gran lunga inferiore a quella degli esseri umani, rappresentando già un enorme potenziale di miglioramento dell'assistenza sanitaria. Vantaggi straordinari si otterranno con l'analisi dei big data, cioè con l'elaborazione di sconfinati volumi di informazioni in campi diversi grazie ad algoritmi e computer sofisticati, addestrati a estrarre da essi valore e conoscenza per ottenerne benefici nel campo oltre che sanitario, anche aziendale, economico, finanziario, sociale eccetera. È altamente probabile che durante tutta la nostra vita molte delle più importanti decisioni circa la nostra salute saranno prese da algoritmi informatici.

Qualcuno dice che ai medici rimarranno solamente quei compiti che

richiedono grande creatività.

A mio parere, l'IU rimarrà essenziale nella valutazione clinica finale di un paziente perché questa, anche se basata su analisi accurate e veloci fornite da una macchina in grado di valutare milioni di dati, richiederà sempre qualcosa che nessun computer avrà mai e che si chiama «buon senso», cioè l'insieme di tutti i big data cognitivi ed emozionali che ogni singolo medico ha incamerato nel corso della sua vita professionale e che possiamo chiamare «esperienza».

Relativamente alla capacità di memoria, sembra che quella di un cervello adulto sia abbastanza inferiore a quella di uno smartphone di fascia bassa, ma vi è una significativa differenza tra una macchina e un cervello umano nei meccanismi che ne sono alla base. Il meccanismo che ci permette di conservare tanti ricordi della nostra vita senza intasare la mente è peculiare. Sappiamo che vi è un processo di selezione: fissiamo solo ciò che ha fatto vibrare le corde delle nostre emozioni e trascuriamo tutto il resto. Ciò che ci rimane dentro, che sia un libro o un avvenimento o una persona, è lì perché, nella gerarchia emotiva della nostra mente, valeva la pena di mantenerlo. E poi interviene il sonno durante il quale il cervello fa un ulteriore lavoro di rimozione delle cose non importanti e di evidenziazione dei ricordi più rilevanti.

Un computer non ha meccanismi di selezione o di cancellazione razionale. Inoltre fissa i ricordi in tanti cassetti senza un nesso fra loro, senza un meccanismo di interpretazione del loro significato. Le fotografie di familiari o amici che salviamo non sono connesse le une alle altre; il computer non capisce che in esse si dipana la storia di amicizie e di amori lungo un ampio arco temporale. Noi cogliamo il senso e il significato di quelle immagini perché la nostra mente intreccia per noi i ricordi e dà loro un senso, perché guardarle ci regala un batticuore e il ricordo delle emozioni che ogni avvenimento di ogni fotografia, un tempo, ci ha regalato. Tutto questo per un'IA almeno oggi, e chi sa per quanto tempo ancora, non è possibile.

I ricercatori dell'IA hanno cominciato a rendersi conto che le emozioni potrebbero essere una chiave di accesso per la coscienza. Essi sanno che le emozioni sono essenziali per esprimere giudizi di valore e per orientarsi nel prendere decisioni, poiché racchiudono milioni di anni di saggezza pratica; per milioni e milioni di anni, i sentimenti sono stati i più efficaci algoritmi del mondo. Senza l'aiuto delle emozioni e del

senso morale, una macchina avrà difficoltà a determinare ciò che è importante e ciò che non lo è, ciò che è giusto e ciò che non lo è. Alcuni ricercatori stanno cominciando a realizzare robot in grado di riconoscere le emozioni nelle espressioni del viso, analizzando i più impercettibili movimenti di sopracciglia, palpebre, labbra, guance. Altri robot cominciano a mostrare emozioni come felicità, tristezza, paura.

Un'altra forte differenza tra IA e IU risiede in quello che Carlo Rovelli, con una bella immagine, definisce «lo spazio dei nostri pensieri», lo spazio delle combinazioni possibili, infinite e immisurabili, in cui ciascuna sinapsi è attiva o no e che quantifica l'immenso spazio del pensabile. Nel cervello umano esso è espresso da un numero stratosferico. Quanto sarà grande lo spazio dei pensieri di una macchina?

Gli scienziati stanno progettando freneticamente nuove macchine capaci di emulare le nostre capacità cognitive. Eppure, anche se domani un calcolatore sarà in grado di replicare perfettamente tutte le funzioni mentali di una persona cosciente, sarà solo una macchina che recita una parte, e agisce solo attivando degli algoritmi e non un pensiero. Watson, il computer della IBM capace di battere due concorrenti umani nel quiz televisivo *Jeopardy*, era in grado di elaborare dati alla velocità di 500 gigabyte al secondo, l'equivalente di un milione di libri al secondo, con 16mila miliardi di byte di memoria RAM. Ma non era possibile andare da lui a congratularsi per la sua vittoria, come non si può andare da una Ferrari di Formula 1 a congratularsi per una *pole position*.

L'intelligenza artificiale si evolverà mai fino a raggiungere una consapevolezza di sé?

Qualcuno sostiene che sia solo una questione di tempo. Ma come facciamo a creare in una macchina qualcosa che ancora non riusciamo a spiegare nell'uomo? Non è solo un problema di tecnologia, è un problema di filosofia, forse. Se poi consideriamo che molto del pensiero umano è costituito dal suo subconscio e che la parte cosciente dei nostri pensieri rappresenta la fetta più piccola delle elaborazioni di cui abbiamo contezza, ci rendiamo conto di quanto sia difficile replicare il pensiero umano in una macchina.

*Una delle differenze che vengono ritenute sostanziali è la creatività. Nel corso di questo libro il tema della creatività è stato affrontato più volte,*

*ritenendolo tra le espressioni più specifiche dell'uomo. La creatività, con l'immaginazione, rappresenta il segreto del nostro successo.*

Alcuni scienziati sostengono che i computer, una volta diventati abbastanza potenti, potranno mostrare lo stesso tipo di intelligenza creativa generalmente attribuita alle persone, conferendo loro abilità quali la formulazione di nuove idee. Se immaginiamo la creatività come espressione di una libera associazione di idee, pensieri ed emozioni, un computer guidato da algoritmi rigidi non potrà mai esprimerla. E se la capacità di creare cose nuove sarà guidata da programmi oggi per noi ancora non concepibili, sarà ancora creatività o dovremo darle un altro nome? Un computer programmato a comporre brani nello stile di Bach, come già succede, dimostra creatività, cioè un'idea frutto di una libera associazione di pensieri, oppure solamente una meccanica combinazione di note, senza alcuna emozione e senza alcuna consapevolezza? E anche se il risultato apparirà buono, sarà sempre una replica di ciò che l'IU ha già immaginato.

Una delle differenze più importanti tra IA e IU riguarda il loro destino finale. Già pochi istanti dopo che la macchina umana è arrivata a fine esercizio, l'intero contenuto della sua mente viene cancellato e nessuno può più ripescarlo. Per questo, quando muoiono certi uomini, è come se un intero archivio di conoscenza e di cultura venisse bruciato e tutti ci sentiamo culturalmente più poveri. In un computer tutta la conoscenza può essere trasferita su una memoria esterna e duplicata quanto si vuole.

E infine c'è la cultura. Quella accumulata dall'IU è stata frutto di un processo di evoluzione di conoscenze elaborate dal cervello stesso. Le conoscenze diffuse dai programmi di un computer da chi sono prodotte, se non dalla mente umana? Quando i computer saranno capaci di generare cultura? Avranno mai le macchine consapevolezza di cos'è cultura?

Malgrado Marvin Minsky nel 1970 avesse detto: «Al massimo entro otto anni avremo una macchina con un'intelligenza simile a quella umana», oggi si ritiene che lo sviluppo di una IAG di livello umano potrà avvenire con una probabilità del 10 per cento entro il 2030, con una probabilità del 50 per cento entro il 2050 ed entro il 2100 con una probabilità del 90 per cento. È anche possibile che non accada mai,

com'è possibile invece che avvenga nel corso della nostra vita.

Ma è corretto parlare sempre di IA, tutte le volte che addestriamo una macchina a svolgere operazioni prima di pertinenza solamente dell'uomo? Se per intelligenza si intende la capacità di progettare e realizzare fini complessi, tutte le volte che oggi ci riferiamo all'IA parliamo di software progettati dall'uomo per risolvere determinati problemi particolari.

Penso che in questi casi abbiamo a che fare con supertecnologie che aiutano l'uomo a fare quello che già fa, anche se in modo molto più veloce ed efficiente.

Il termine IA, oramai entrato nell'uso collettivo, dovrebbe essere riservato a ciò che ancora non c'è e che forse non ci sarà mai, e cioè a una macchina capace di un'intelligenza generale di livello pari o superiore a quello umano. Ed è proprio intorno alla possibilità di creare una superintelligenza, ovvero una macchina la cui intelligenza sia talmente superiore alla nostra da renderci incapaci non solo di migliorarla ma addirittura di comprenderla, che sorgono domande cruciali.

È possibile che una macchina particolarmente complessa possa pervenire alla coscienza in senso umano e che la coscienza possa sorgere spontaneamente? Alcuni scienziati affermano che il cervello umano è semplicemente un'entità con maggiori scambi tra neuroni, dendriti e sinapsi, rispetto ai bit disponibili in un cervello artificiale, e che quindi, raggiunto un certo grado di complessità, anche il cervello artificiale potrà esercitare le medesime funzioni di quello umano. Ma un substrato costituito di rame, silicio o tungsteno potrà spontaneamente sviluppare le stesse caratteristiche supportate dalla materia biologica di un corpo vivente? Anche se la scienza ci ha spesso dimostrato che anche l'impossibile può realizzarsi, certamente è molto difficile. La coscienza è una caratteristica così complessa, implica così tante cose come consapevolezza di sé e della realtà che ci circonda, visione morale del mondo, pensiero e capacità di riflettere sui propri pensieri e su questi elaborare un progetto, e talmente tante altre ancora, che appare difficile che una materia grezza, solo per aver raggiunto un livello di elevata complessità computazionale, possa farle emergere. Coscienza è anche

capacità di capire l'armonia di un brano musicale ed emozionarci davanti a un tramonto. Una macchina cercherà mai un tramonto o si emozionerà mai ascoltando un *Notturno* di Chopin? E se quindi un computer difficilmente svilupperà una consapevolezza di se stesso, come potrà essere definito superintelligente? Per fare di una macchina artificiale un'intelligenza bisognerebbe donarle una conoscenza universale del mondo, compreso quel tipo di saggezza che non c'è modo di condensare in algoritmi. Per quanto straordinariamente complessi possano essere gli algoritmi, potranno mai imparare una cosa inafferrabile come i sentimenti? O i valori? O l'etica?

Certamente sono domande per il futuro, perché oggi il sistema di IA più avanzato, secondo qualsiasi criterio di misura ragionevole, è di molto al di sotto delle capacità intellettuali generali dell'uomo. Ma è bene che il genere umano si attrezzi per trovare le risposte perché, come si può facilmente capire, questa è una storia che rischia di assumere dimensioni oggi impensabili, poiché potrebbe riguardare addirittura il futuro ultimo della nostra vita nell'universo. Ed è una storia che sarà l'uomo a scrivere. E siccome saremo noi a progettare simili macchine, è bene che ci chiediamo: quale futuro vogliamo? Solo dopo aver riflettuto molto sul tipo di futuro che vogliamo, saremo in grado di indirizzare la rotta verso un futuro desiderabile.

Lo sviluppo dell'IA ci pone di fronte a una riflessione fino a poco tempo fa ritenuta bizzarra. Finora un'intelligenza brillante è stata sempre caratteristica di una coscienza evoluta. Soltanto gli esseri consapevoli potevano portare a termine compiti come giocare a scacchi, guidare automobili, diagnosticare malattie. Oggi si stanno sviluppando macchine capaci di svolgere tali compiti in modo assai più efficace degli uomini, basandosi su pattern e algoritmi che prescindono dalla presenza di una consapevolezza e che, nel loro obiettivo specifico, possono superare l'IU. Tutto questo ci porta a considerare che sia possibile sviluppare nuovi tipi efficienti di «intelligenza» a prescindere dalla coscienza, e che ciò che conta, in questo ambito, è il raggiungimento del fine, non la presenza di una consapevolezza di ciò che si sta per fare. Guidare una macchina non comporta di necessità emozionarsi di fronte a uno spicchio di mare che appare all'improvviso tra gli alberi. Anche senza l'emozione l'auto a guida autonoma sarà presto in grado di fare meglio

di un conducente umano, anche se durante il viaggio non potrà godere della musica che la sua radio diffonde o fare considerazioni sulla meraviglia dell'esistenza.

Ma se tutto ciò che ci serve è che venga svolto un particolare compito programmato dall'uomo, per quanto complesso esso possa essere, è così importante che venga realizzato con consapevolezza e creatività invece che sulla base di un programma algoritmico predeterminato?

Se un robot decifra e utilizza in un dato contesto le parole cinesi molto meglio di qualunque essere umano, è veramente importante stabilire se capisce il cinese, dal momento che in tutte le applicazioni pratiche vi riuscirà meglio di qualunque essere umano? In altri termini, la parola «capire» avrà ancora senso se riferita a una macchina? Sulla base di quanto detto fin qui, possiamo attribuire a un computer la parola «pensare»? E siamo sicuri che si possano chiamare «intelligenti» macchine incapaci di costruire una rappresentazione del mondo o di dare vita a processi creativi? Il sospetto che sorge è che questi complessi sistemi di calcolo, invece di essere in grado di operare come la mente umana, di fatto si limitino a calcolare i dati in modo più sofisticato e veloce, cioè che siano solamente delle supertecnologie.

La saggezza, l'intelligenza non sono semplicemente un accumulo di informazioni, per quanto numerose queste possano essere, ma la capacità, partendo da una mole di dati, di rielaborarli e riuscire a pensare una prospettiva più ampia sulle cose.

Il progetto IA è in continua evoluzione e gli scienziati, oltre che su una maggiore memoria e velocità, vogliono adesso puntare a una macchina che apprenda.

Per fare questo si sta cercando di simulare le reti neurali umane, cioè un insieme di gruppi di neuroni interconnessi, realizzando un esempio di tecnica di intelligenza artificiale ispirata al cervello.

Si sta cercando di realizzare quello che si chiama *machine learning,* cioè l'apprendimento autonomo da parte di macchine autodidatte, che non hanno bisogno di un maestro per progredire nella loro conoscenza, evolversi e migliorare.

Il *machine learning*, grazie all'aumento delle capacità di calcolo e di memoria dei nostri computer, rappresenta un grande passo avanti. *Deep*

*Blue* della IBM ha imparato da solo a giocare a quaranta giochi, *Alpha Go* di Google ha fatto lo stesso con *Go*, un antico gioco diffuso in Cina, assai più complesso degli scacchi.

Le machine learning sono computer che imparano a estrarre deduzioni dalla massa di dati che assorbono, anziché aspettare che sia un uomo a dar loro istruzioni sul da farsi: formulano ipotesi, le confrontano con i dati raccolti nel mondo esterno, le aggiustano. La loro superiorità sta nel fatto che queste funzioni, proprie della mente umana, loro possono realizzarle a una velocità un milione di volte superiore. Google, Amazon, Netflix oggi usano questi computer imparanti.

Tutto ciò avvicina le macchine all'IA vera, quella che vuole simulare l'IU. Per certi versi questa prospettiva appare molto intrigante. Tutto ciò che amiamo della civiltà è il prodotto dell'IU; ampliandolo con l'IA, potenzialmente potremmo rendere la nostra vita ancora migliore, prevenire le calamità naturali, curare le malattie, vivere più a lungo.

Ma è necessario fare una riflessione sul tipo di futuro che vogliamo e che noi, come specie, potremmo creare: l'idea stessa di un'IA così avanzata solleva problemi non solo tecnologici e filosofici, ma anche di sicurezza per il genere umano. Gli scienziati e i governanti devono chiedersi cosa si possa fare per aumentare le probabilità di raccogliere i frutti della futura IA ed evitarne i rischi. Questo è il dibattito più importante del nostro tempo.

Poiché un'IA avanzata sarebbe, per definizione, molto abile nel raggiungere i suoi fini, quali che siano, dobbiamo assicurarci che questi siano in linea con i nostri, perché altrimenti abbiamo di che preoccuparci. Ma, a quel punto, saremo in grado di cambiare i fini di un'IA più intelligente di noi? E come ci assicureremo che quei fini saranno mantenuti? Cosa sarà della nostra vita quando l'uomo svilupperà algoritmi non coscienti ma dotati di grande intelligenza? Siamo sicuri che un software intelligente si limiterà a fare solamente ciò che è programmato per fare?

Non sappiamo dove ci porterà l'IA, e ancor meno quello che accadrà con una superintelligenza, quali opportunità e quali sfide ci presenterà un futuro così fatto. Potremmo trovarci di fronte a qualcosa di completamente nuovo, qualcosa che secondo i modelli matematici potrebbe diventare milioni di volte più intelligente di noi. Probabilmente

siamo all'inizio di una storia ancora da scrivere, ma che si prospetta straordinaria. Il livello di investimenti, combinato con i progressi nei big data, nelle scienze dei materiali e nella tecnologia, stanno ponendo le basi per una svolta decisiva.

Malgrado gli straordinari entusiasmi di molti, alcuni scienziati, come lo svedese Nick Bostrom, direttore del *Future of Humanity Institute* presso l'Università di Oxford, trovano ragioni per essere prudenti, fino al punto di affermare che una superintelligenza artificiale potrebbe comportare per l'essere umano un pericolo maggiore di qualsiasi altra invenzione della storia umana. Numerose personalità della scienza e della tecnologia, come Stephen Hawking, il premio Nobel per la Fisica Frank Wilczek, Bill Gates, Elon Musk, così come molti altri, hanno espresso cautele come quelle di Bostrom. Pensata come ausiliaria delle capacità cognitive del cervello umano, l'IA potrebbe dimostrarsi in grado di prendere decisioni autonome e in seguito rendere l'uomo schiavo della sua stessa tecnologia. La paura che l'umanità possa creare cose che non è in grado di controllare ci porta a storie lontane, al mito di Prometeo, condannato a una punizione eterna per aver donato il fuoco ai mortali, o a quello di Icaro, le cui ali si sono sciolte al sole per aver osato volare troppo in alto; i film e i libri di fantascienza ci rappresentano mondi in cui l'uomo appare incapace e succube di intelligenze aliene. La paura è che una superintelligenza ostile o poco amichevole possa impedirci di controllarla o di modificarne i fini, e che questo possa segnare il nostro destino.

La scommessa è che la scienza ci dia gli strumenti per gestire il processo nel modo giusto, calcolando anche i rischi apparentemente inverosimili e prevedendo opportuni accorgimenti. Certamente ci troviamo di fronte a una sfida complessa che consiste anche nell'evitare di perdere la nostra umanità e mantenere il nostro buon senso. Ma in tutta questa storia sicuramente un vantaggio l'abbiamo: saremo noi a progettare la superintelligenza e potremo costruirla in modo che protegga i valori umani; siamo noi, al momento, mentre l'IA prende forma, ad avere in mano il futuro della nostra vita. Gli scienziati, i politici, i filosofi devono capire bene cosa possiamo fare oggi per determinare le condizioni iniziali di un'IAG, in modo da selezionare delle motivazioni che ci garantiscano la sopravvivenza e che siano benefiche. Se riusciamo a fare tutto questo, allora una superintelligenza

potrebbe rivelarsi una delle trovate più geniali nella storia dell'umanità.

Intanto, il 18 dicembre 2018, un gruppo di esperti nominato dalla Commissione europea ha tracciato le prime linee guida etiche in tema di IA. Il documento punta principalmente sulla centralità dell'essere umano: prima degli algoritmi, devono venire la dignità e la libertà dell'uomo.

Il primo punto indicato è l'affidabilità, sia tecnica che etica. La prima discende dalla capacità degli scienziati e dall'utilizzo delle migliori tecnologie oggi disponibili. Le questioni etiche, potenzialmente rilevanti e forse più complesse, vanno dalla possibilità di manipolare il proprio corpo, allo sviluppo e all'uso di armi completamente autonome che prescindono dal controllo diretto dell'essere umano nella decisione di uccidere, alla possibilità di analizzare dati complessi di un individuo, riferibili alle sue abitudini, preferenze, idee politiche e religiose, al fine di definirne il profilo e predire o addirittura manipolare il suo comportamento; e ancora, determinare come una macchina debba agire di fronte a una scelta tragica, come quella di sacrificare una vita per salvarne un'altra.

Il documento fissa alcuni principi fondamentali: l'IA deve promuovere il benessere degli individui e della società, favorendo sviluppo economico, equità sociale e tutela dell'ambiente; non deve nuocere agli uomini, evitando discriminazioni, manipolazioni del singolo o dell'opinione pubblica (vedi i recenti scandali di *Cambridge Analytica* relativi a certi usi di algoritmi e social media per conoscere e influenzare decisioni politiche); deve essere assicurata la libertà degli esseri umani dalla subordinazione o coercizione da sistemi di Intelligenza Artificiale; l'utilizzo deve essere improntato a principi di equità, garantendo eguali opportunità; vi deve essere trasparenza della tecnologia e del modello di business; ogni forma di inganno deve essere esclusa e l'uomo deve essere informato della vera natura della macchina.

L'IA, in pratica, deve avanzare in maniera protetta, benevola, disponibile a tutti e benefica.

Cosa possiamo dedurre da tutto questo?

Isaac Newton molti secoli fa, pubblicando i *Principi matematici della filosofia naturale*, intuì come il libro della natura fosse scritto nel

linguaggio della matematica. Ci sono voluti molti secoli perché la scienza usasse estesamente la matematica, e grazie a uno sviluppo avanzato di questa l'umanità è giunta all'IA.

L'IA rappresenta certamente una sfida tecnologica importantissima. Nuove macchine, sulla base di regole predefinite, saranno capaci di prendere decisioni o di aiutarci a farlo e, nel bene o nel male, la loro esistenza influenzerà fortemente la nostra vita.

Uno degli aspetti più interessanti degli studi sull'IA è che queste ricerche potranno avere un impatto diretto sul futuro della mente: potremo capire meglio i meccanismi di funzionamento del cervello, potenziare la nostra intelligenza, trovare la cura di molte malattie neurologiche, creare interfacce cervello-computer e in un futuro quasi da fantascienza fare copie di backup dei nostri pensieri.

Ma come cambierà il nostro rapporto con le macchine, se un giorno l'uomo riuscirà a realizzare un'IA avanzata, che sia di tipo umano e generale? Se la scienza riuscirà in ciò, il risultato che si raggiungerà sarà da considerare eccezionale. Ma in quel momento dovremo avere le leggi per governarlo con quella saggezza che le macchine probabilmente non avranno, perché l'IAG ci presenterà meravigliose opportunità ma anche difficilissime sfide. La più difficile di queste sarà fare in modo che le macchine si inseriscano nella nostra vita senza stravolgerla, ma preservando l'equilibrio complessivo del mondo e la dignità e la libertà dell'uomo. Pensare che potremmo essere la prima generazione a vivere questa opportunità è preoccupante, ma allo stesso tempo esaltante e bellissimo.

Il mondo, come lo abbiamo immaginato finora, sta letteralmente cambiando, e l'impatto economico, sociale e lavorativo che ne conseguirà sarà rilevante già in un futuro prossimo. Accanto a effetti positivi ed esaltanti, dobbiamo mettere in conto anche conseguenze negative. Per questo dovremo decidere come modernizzare le nostre leggi e quali consigli dare ai nostri figli in modo che evitino lavori destinati a essere presto svolti in modo migliore dalle macchine. Dobbiamo aggiornare i nostri sistemi educativi e ripensare il nostro panorama lavorativo. Il problema cruciale, già oggi, è creare nuovi mestieri che gli uomini riescano a fare meglio degli algoritmi.

Per finire mi sono posto queste domande: dobbiamo veramente preoccuparci del progresso futuro dell'IA e del possibile raggiungimento del punto di singolarità tecnologica? Pensiamo che debba essere fermato?

Se penso come in un romanzo di fantascienza, sì. Ma se penso in modo razionale, no. Per tre motivi. Innanzitutto, è difficile immaginare che l'uomo possa creare una vera IAG e possa dotarla di una coscienza, senza la quale le scelte tra ciò che è giusto e ciò che è sbagliato non potranno esserci, se non ha ancora capito cosa sia la coscienza umana e quale sia stata l'incredibile sequenza di eventi biologici che si sono dovuti realizzare perché fosse possibile. Secondariamente, perché ho fiducia nella scienza e nell'uomo che la governa. In fondo l'uomo già altre volte ha sviluppato tecnologie che avrebbero potuto trasformarsi in armi micidiali, capaci di distruggere l'umanità, e finora, per saggezza o per paura o per spirito di autoconservazione, è riuscito a controllarle e a volgerle in un utilizzo sicuro. La cosa certa è che la scienza si è mossa sempre con affidabilità, con verifiche continue di ogni progressione e con la condivisione nell'ambito del mondo scientifico. Non esistono i laboratori di uomini malvagi che portano avanti scoperte inenarrabili per arrivare al controllo sul mondo. Lasciamo tutto ciò alla fantascienza e fidiamoci degli approcci metodologici che guidano gli scienziati e della loro razionalità. Infine, e questo è il terzo motivo, perché penso che non si possa arrestare la spinta ad andare oltre che caratterizza la nostra mente e che ha permesso da sempre i progressi del genere umano. Non possiamo fermare il progresso e l'IA di questo progresso è parte fondamentale, così come la ricerca per raggiungere la cura dei tumori o per allungare la vita preservandoci in salute. È proprio in questo anelito continuo al miglioramento che sta la bellezza della vita, non immobile e statica, ma sempre con una tensione verso il nuovo.

Ma mentre da uomo di scienza guardo con entusiasmo a un futuro di straordinario progresso scientifico, da semplice essere umano mi chiedo: la vita è davvero soltanto elaborazione di dati, e quindi condizionabile da algoritmi, oppure la coscienza di noi stessi, la capacità di indagarci dentro, di chiederci da dove veniamo e dove andremo ci rende esseri differenti e mai raggiungibili da una macchina?

Per quanto l'intelligenza sia straordinariamente importante, l'uomo non è solo intelligenza.

È anche emozioni, inserimento in un mondo fatto anche di altre cose in cui l'uomo ha un ruolo, ma non sempre determinante o rilevante.

Giorni fa passeggiavo dentro uno splendido giardino e osservavo la complessità del mondo che mi circondava e la profonda bellezza della natura. C'erano fiori, alberi, animali, acqua, un insieme di realtà in equilibrio fra loro, e in quell'equilibrio c'era anche l'uomo, ma non perché dotato di intelligenza o di algoritmi, ma perché parte di un sistema più grande di lui, di una vita complessa che esiste indipendentemente da lui stesso e della quale l'uomo è solo un piccolo elemento, talvolta scomodo e pericoloso. Con questa realtà l'uomo convive tutti i giorni, dentro essa vive.

Come farà una macchina, pur con tutti i suoi complessi algoritmi, a inserirsi in una realtà simile?

È probabile che l'uomo non sia essenziale e che possa essere tranquillamente sostituito da una macchina e dalle sue formule. Certamente i fiori, gli alberi e gli uccelli non se ne accorgeranno. Ma che fine farà poi il genere umano? Che fine farà un'esperienza di milioni di anni che ha saputo sviluppare la coscienza e un pensiero intelligente? La coscienza è la più alta forma di complessità conosciuta nell'universo e, probabilmente, anche la più rara. Siamo certi di voler rinunciare a tutto questo e che tutto quello che potrà venire dopo sia migliore? O non dovremo piuttosto considerare l'IA semplicemente come una straordinaria opportunità tecnologica capace di aiutarci a costruire un mondo migliore, senza malattie, senza povertà, senza discriminazioni, con una più equa distribuzione delle risorse, magari con la possibilità di accrescere le nostre capacità emotive e cognitive, ma senza voler necessariamente raggiungere una superintelligenza pari o superiore all'IU?

Non dimentichiamoci mai che siamo esseri piccolissimi al limite della vastità dell'universo e che dobbiamo considerare la vita e la nostra intelligenza umana miracoli preziosi. Speriamo che questo limiti il nostro desiderio di onnipotenza e non ci spinga a cercare al di fuori di noi stessi coscienze artificiali, surrogati di una realtà già bellissima, e che l'umanità, affidandosi alla filosofia della sua lunga vita, mantenga sempre il controllo sulle tecnologie.

Chiuderei facendo mie le parole del neuroscienziato David Eagleman: «Che sconcertante capolavoro è il cervello, e come siamo

fortunati ad appartenere a una generazione che ha la tecnica e la volontà di studiarlo. È la cosa di gran lunga più bella che abbiamo scoperto nell'universo, e quella cosa bellissima siamo noi».

# 18
# Fine del viaggio

*E pertanto è la verità stessa che ci interessa, e se noi la cerchiamo sempre è perché ciò che abbiamo trovato fino ad ora non può soddisfarci. Lo scienziato sale sempre cercando la verità e se non la trova mai tutta intera, egli tuttavia ne scopre dei frammenti molto importanti, e sono precisamente questi frammenti della verità generale che costituiscono la scienza.*

Claude Bernard, scienziato dell'800

Siamo arrivati alla fine del nostro straordinario viaggio.

La fine di un libro, se lo si è letto con piacere, lascia sempre un senso di nostalgia e di mancanza, per la perdita di qualcosa che non incontreremo più. Ma anche per chi lo scrive succede ciò. Questo libro a me mancherà molto; è stato per me come un amico con il quale ho trascorso un lungo periodo di tempo, in modo affascinante, imparando un'infinità di cose, vivendo con Sua Maestà il cervello.

Il nostro cervello è un capolavoro sconcertante e noi siamo fortunati ad appartenere a una generazione che ha gli strumenti tecnici e la

preparazione culturale per studiarlo. È la cosa di gran lunga più bella che si sia scoperta nell'universo; e la cosa più straordinaria è che quella cosa bellissima di cui vi ho parlato in tutti questi capitoli siamo noi.

Certamente, come ho cercato di far capire in tutte queste pagine, ciò che sappiamo del cervello e della mente è ancora una minima parte del tutto. Questa grandiosa impresa della scienza e della ricerca è ancora all'inizio e ci darà, nel futuro, altre scoperte ancora più straordinarie.

Ma già quello che abbiamo visto fin qui ci riempie il cuore e il cervello di stupore e di meraviglia. Anche se non è il tutto, è sufficiente a farci assaporare la bellezza dell'alba e del tramonto, a farci stupire per la straordinarietà del dono della vita, anche se poi verrà ancora la notte.

Alla fine di questo libro spero solo di essere riuscito a trasmettere ai lettori quale miracolo sia la nostra esistenza, risultato di un progetto straordinario.

Dice papa Francesco: «Non rinunciare mai alla felicità perché la vita è uno spettacolo incredibile».

E il nostro cervello, di questo spettacolo incredibile, è la parte più bella.

# Suggerimenti di lettura


Piero Angela, *Viaggio dentro la mente,* Rai-Eri Mondadori, Milano 2014.

Álvaro Bilbao, *Il cervello del bambino spiegato ai genitori*, Salani Editore, Milano 2017.

Louann Brizendine, *Il cervello delle donne*, Rizzoli, Milano 2007.

David Eagleman, *Il tuo cervello. La tua storia*, Corbaccio, Milano 2016.

—, *In incognito. La vita segreta della mente*, Mondadori, Milano 2012.

Vittorio Gallese e Michele Guerra, *Lo schermo empatico*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2005.

Yuval Noah Harari, *Sapiens. Da animali a dei*, Bompiani, Milano 2017.

Daniel Kahneman, *Pensieri lenti e veloci*, Mondadori, Milano 2012.

Eric R. Kandel, *L'età dell'inconscio. Arte, mente e cervello dalla grande Vienna ai nostri giorni*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2012.

Michio Kaku, *Il futuro della mente*, Codice Editore, Torino 2014.

Lamberto Maffei, *Elogio della lentezza*, Il Mulino, Bologna 2014.

Giulio Maira, *Ti regalo le stelle*, Sedizioni, Milano 2015.

Rita Levi Montalcini, *Elogio dell'imperfezione*, Garzanti, Milano 1987.

Giacomo Rizzolatti e Corrado Sinigaglia, *So quel che fai*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2006.
Carlo Rovelli, *L'ordine del tempo*, Adelphi, Milano 2017.
Sebastian Seung, Connettoma: la nuova geografia della mente, Codice Editore, Torino 2013.
Max Tegmark, *Vita 3.0. Essere umani nell'era dell'intelligenza artificiale*, Raffaello Cortina Editore, Milano 2018.
Giulio Tononi, *PHI. Un viaggio dal cervello all'anima*, Codice Edizioni, Torino 2014.
Richard Wiseman, *Il potere del sonno*, Vallardi, Milano 2017.

# Indice

1. Cogito ergo sum
2. C’era una volta
3. La meraviglia del cervello e delle sue cellule
4. La scoperta dei neuroni specchio
5. Dall’evoluzione del cervello la qualità della nostra vita
6. Colline e vallate, così uguali ma così diverse
7. I cassetti della mente
8. Creatività e intelligenza
9. Come vediamo la realtà
10. Intuito e logica, pensiero lento e pensiero veloce
11. La magia della memoria
12. Sonno e sogni. Il cervello dopo mezzanotte
13. Lo straordinario cervello delle donne
14. Cervello e cuore. Il pensiero e il battito alla base dell’equilibrio della vita

15. Sua maestà la Coscienza
16. Alleniamo il nostro cervello
17. Intelligenza Artificiale: fantascienza o realtà?
18. Fine del viaggio

*Suggerimenti di lettura*